

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

ББК 31.294.9
Т82
УДК 621.316.172

Рецензенты: Л. А. Циперман, Н. М. Росохватский

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является вторым изданием выпущенной Энергоатомиздатом в 1983 г. книги «Электрические сети жилых и общественных зданий».

В книге нашли отражение вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации внутренних электрических сетей, электрооборудования, автоматизации инженерного оборудования и сетей слаботоочных устройств жилых и общественных зданий, а также отражены многолетний опыт ведущих проектных организаций, занятых проектированием жилых и общественных зданий в Москве, и результаты научно-исследовательских и экспериментальных работ, выполненных за последние годы и включенных в нормативные документы.

Учитывая важность ряда вопросов, являющихся основой при исследованиях и проектировании электрических сетей зданий, в книге рассмотрены электропотребление при различных уровнях электрификации в настоящее время и в перспективе, а также современные методы определения нагрузок, основанные на положениях теории вероятностей и математической статистики. Сделана попытка прогнозирования электрических нагрузок. Несмотря на то что эти методы пока еще не получили широкого распространения в инженерной практике, пользование ими не представляется сложным и их внедрение, в частности, в практику проектирования электрооборудования зданий вполне целесообразно.

В книге рассматриваются методы построения схем внутренних электрических сетей зданий, их расчет, способы выполнения, приведены краткие описания систем автоматизации, уделено внимание вопросам диспетчеризации, электробезопасности и эксплуатации электроустановок.

Т82 Тульчин И. К., Нудлер Г. И.
Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 480 с.: ил.
ISBN 5-283-01163-1.

Рассмотрены электроприемники, сети электроснабжения и внутренние сети жилых и общественных зданий. Приведены методы расчета электрических сетей, некоторые схемы автоматизации. Первое издание вышло в 1983 г. Второе издание переработано с учетом новых нормативных документов. Рассмотрены вопросы радиотрансляции, связи и телевидения.

Для инженеров-электриков, занятых проектированием и эксплуатацией жилых и общественных зданий, может быть полезна студентам вузов.

Т 2202090000-017 112-90
051(01)-90

ББК 31.294.9

ISBN 5-283-01163-1.

© Энергоатомиздат, 1983
© Авторы, 1990,
с изменениями

Во втором издании книги многие главы переработаны и расширены в соответствии с вышедшими за последнее время новыми нормативными документами. Более широко рассмотрены вопросы электроснабжения и оптимизации схем и систем с учетом последних достижений научно-технического прогресса в области электроснабжения и электрооборудования. Нашли отражение вопросы экономии электроэнергии. Написана глава, посвященная молниезащите. Книга дополнена рядом примеров. В книгу включены главы, в которых рассматриваются вопросы связи, радиотрансляции, телевидения, написанные инженером С. Я. Каменецким. Остальные главы книги написаны совместно инженерами И. К. Тульчиным и Г. И. Нудлером.

Авторы благодарны рецензентам Л. А. Циперману и Н. М. Росоховатскому за ценные замечания и рекомендации по рукописи.

Замечания и пожелания по книге следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Развитие экономики нашей страны неразрывно связано с электрификацией всех отраслей народного хозяйства. План ГОЭЛРО, разработанный вскоре после Великой Октябрьской социалистической революции советскими учеными и специалистами, был первым перспективным планом развития экономики всей страны на базе электрификации. Историческое значение плана ГОЭЛРО трудно переоценить. В ходе осуществления первого пятилетнего плана индустриализации страны план ГОЭЛРО был выполнен досрочно.

Ниже приводятся некоторые данные, характеризующие рост энергетики в нашей стране до 1935 г.:

	1913 г.	1920— 1921 гг.	По плану ГОЭЛРО	1930 г.	1935 г.
Мощность районных электростанций, млн. кВт	0,2	0,25	1,75	1,4	4,6*
Производство электроэнергии, млрд. кВт·ч	2	0,5	8,8	8,4	26,3

* В том числе 0,5 млн. кВт — промышленные электростанции районного значения.

К 1935 г. Советский Союз занял второе место в Европе и третье место в мире по производству электрической энергии, опередив такие промышленно развитые капиталистические страны, как Англия, Франция, Италия. В дальнейшем рост энергетики как основополагающей отрасли народного хозяйства шел быстрыми темпами. Так, в 1940 г. мощность электростанций достигла 11,2 млн. кВт, а производство электроэнергии 48,3 млрд. кВт·ч.

Несмотря на то что в период Великой Отечественной войны произошло сокращение производства электроэнергии, уже в 1946 г. в результате героического труда совет-

ских людей производство электроэнергии превысило довоенный уровень и составило 48,6 млрд. кВт·ч, а в 1947 г. Советский Союз занял первое место в Европе и второе в мире по производству электрической энергии — важнейшему показателю индустриального развития страны.

Все последующие годы социалистического строительства советский народ под руководством Коммунистической партии последовательно проводил ленинскую политику электрификации страны, и на ее основе быстрыми темпами шло развитие всех отраслей народного хозяйства и возрастало благосостояние народа. Потребление электроэнергии основными отраслями народного хозяйства, в том числе и на бытовые нужды, характеризуется данными, приведенными в табл. В.1.

В 1985 г. производство электроэнергии достигло 1544,2, а в 1987 — 1665 млрд. кВт·ч в год.

В ходе выполнения пятилетних планов развития народного хозяйства СССР было осуществлено и ведется в настоящее время строительство крупных тепловых электростанций мощностью 4—6 млн. кВт с блоками 300, 500, 800, 1200 МВт, в том числе на базе месторождений углей Экибастузского, Сургутского, Канско-Ачинского. Сооружены мощные гидроузлы, преимущественно в Поволжье, Сибири, на Кавказе, в Средней Азии и ряде других районов.

В ряде районов получила развитие атомная энергетика. Принимаются очень серьезные меры по повышению уровня безопасности атомных электростанций, в частности, по предотвращению аварий с реакторами. В более отдаленном периоде можно ожидать появления электростанций,

Таблица В.1. Потребление электроэнергии основными отраслями народного хозяйства, в том числе на бытовые нужды

Отрасль	Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч					
	1960 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.
Общее	292,3	740,9	1038,6	1295	—	—
В том числе:						
промышленностью	188,7	438	587,7	688	794	911
строительством	8,9	15	21,3	26,2	29,3	31
транспортом	17,6	54,4	74,2	102,7	120,1	139
сельским хозяйством	9,9	38,5	73,8	111	145,7	210
на бытовые нужды городов	30,5	81,1	119,1	147,5	193	235
и коммунальное хозяйство						
на собственные нужды и передачу электроэнергии	36,7	108,7	151,3	182,8	—	—

использующих термоядерную реакцию, в основе которой предполагается синтез ядер тяжелого водорода, запасы которого в природе неисчерпаемы.

В быту найдут и уже находят применение установки, использующие так называемые возобновляемые источники энергии — энергию ветра, морских приливов и отливов, солнечную энергию и т. п. Можно ожидать применения магнитогидродинамических генераторов, экспериментальное строительство которых уже ведется.

Ведутся работы по созданию Единой энергетической системы (ЕЭС) СССР, строительство дальних линий электропередачи переменного и постоянного тока сверхвысокого напряжения. С каждым годом все более расширяются международные энергетические связи. В настоящее время параллельно со станциями ЕЭС СССР работают электростанции объединенных энергетических систем стран — членов СЭВ — ПНР, ВНР, ЧССР, СРР, ГДР; а на востоке — энергосистема МНР. Образовано крупнейшее международное энергообъединение с установленной мощностью электростанций около 300 млн. кВт, в котором параллельно работают электростанции от Улан-Батора до Берлина. Единая энергетическая система производит поставки электроэнергии в Турцию, Финляндию, Норвегию.

Решениями XXVII съезда КПСС предусмотрен неуклонный рост энергетики как основы дальнейшего развития народного хозяйства страны. К 1990 году производство электроэнергии достигнет 1860 млрд. кВт·ч в год.

Важным элементом повышения благосостояния народа является дальнейший рост электрификации быта. Повышение уровня электрификации и совершенствование всей системы электроснабжения в городе и на селе имеют важное значение как для снижения затрат труда на ведение домашнего хозяйства, так и для улучшения санитарно-гигиенического состояния жилищ и оздоровления воздушной среды населенных пунктов.

В СССР в настоящее время насчитывается более 2000 городов и 3600 поселков городского типа, в которых проживает более половины населения страны. По электрическим сетям 0,4—20 кВ распределяется около 40 % всей вырабатываемой электроэнергии, поэтому правильное построение системы распределения энергии, обеспечивающее высокую надежность электроснабжения и уменьшение потерь в электрических сетях, имеет важное значение.

В нашей стране в условиях планового хозяйства разви-

тие электрификации быта подчинено общим народнохозяйственным интересам, и в большинстве районов применение электроэнергии ограничивается экономичными решениями по централизованной теплофикации, газификации на базе природного газа и т. д. Тем не менее по мере совершенствования процессов производства электроэнергии, повышения КПД электростанций, внедрения мощных энергоблоков создаются предпосылки для дальнейшего развития электрификации. В первую очередь потребление электроэнергии на бытовые нужды в городах и селах будет расти за счет увеличения количества различных бытовых машин и приборов в домашнем хозяйстве, а также применения электроэнергии для приготовления пищи. В ряде районов страны с дорогим привозным топливом, в курортных зонах (где особенно важно поддержание чистоты воздушного бассейна), в некоторых южных районах, на Крайнем Севере можно ожидать постепенного внедрения различных видов электрокондиционирования воздуха, электроводонагрева и электроотопления.

В некоторых районах в сельской местности в порядке эксперимента уже построено небольшое количество жилых домов, оборудованных установками электроводонагрева (ЭВН) и электроотопления (ЭО).

Широкое внедрение механизации и автоматизации производственных процессов — одна из основ повышения производительности труда в народном хозяйстве. Автоматика находит все большее применение и на коммунальных предприятиях, объектах жилищно-гражданского строительства; ее повсеместное внедрение позволяет сократить расходы электроэнергии, повысить надежность электроснабжения, обеспечивает бесперебойную работу инженерного оборудования зданий.

Однако следует отметить недостаточные темпы развития энергетики и электрификации быта. Это связано главным образом с тем, что КПД электростанций еще недостаточен, электрооборудование как самих электростанций, так и различных потребителей устарело и слишком энергоемко, недостаточно внедряются новые энергоэкономичные источники света и светильники, велики потери электроэнергии в городских электрических сетях.

Ликвидация указанных недостатков является важнейшей задачей развития энергетики в ближайшие годы, что позволит ей достигнуть мирового уровня.

Раздел первый

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЫТА И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ

Глава первая

ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

1.1. ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Современные жилые здания насыщены большим количеством различных электроприемников. К ним относятся осветительные и бытовые приборы и силовое электрооборудование. Рост энергетики и объема производства электроэнергии в значительной мере способствует расширению номенклатуры и увеличению количества электроприборов, применяемых в быту.

Электроприборы, все в большей степени используемые в квартирах жилых зданий, обеспечивают сокращение затрат труда на ведение домашнего хозяйства и повышение комфорта современного жилища.

Электроприемники жилых зданий могут быть подразделены на две основные группы: электроприемники квартир и электроприемники общедомового назначения. К первым относятся осветительные и бытовые электроприборы. Ко вторым относятся светильники лестничных клеток, технических подпольев, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других помещений, лифтовые установки, вентиляционные системы, различные противопожарные устройства, элементы диспетчеризации, переговорно-вызывные устройства (домофоны), кодовые замки и т. п.

Электроприемники квартир. Электрическое освещение квартир осуществляется с помощью светильников общего и местного освещения, как правило, с лампами накаливания. Однако в настоящее время разрабатываются и внедряются бытовые светильники с люминесцентными лампами,

применение которых позволит резко повысить освещенность в квартирах без увеличения расхода электроэнергии при значительно большем сроке службы этих ламп. Однако их широкое внедрение требует улучшения цветопередачи таких ламп. Для общего освещения жилых комнат применяются многоламповые светильники различных конструкций с лампами накаливания мощностью 40—100 Вт, для освещения вспомогательных помещений — одноламповые светильники 25—60 Вт, для ванных комнат разработан и внедряется светильник с люминесцентной лампой мощностью 20 Вт.

Бытовые электроприборы по назначению можно условно разделить на следующие характерные группы: нагревательные для приготовления пищи, для обработки и хранения продуктов, хозяйственные (для ухода за бельем и одеждой, уборки помещений, электронные инструменты и др.), культурно-бытовые, санитарно-гигиенические, бытовые кондиционеры воздуха, водонагреватели, приборы для отопления помещений.

Нагревательные приборы для приготовления пищи: электроплиты с программными устройствами и без них, жарочные шкафы, электроплитки, электропечи, тостеры, шашлычницы, скороварки, самовары, чайники, электропечи высокой частоты и т. п. Кухонные электроплиты и жарочные шкафы устанавливаются стационарно, остальные приборы большей частью являются переносными.

Характеристики некоторых электроплит отечественного и зарубежного производства приведены в табл. 1.1.

Применение электроплит вместо газовых и плит на твердом топливе позволяет: существенно улучшить санитарно-гигиенические условия в кухне и квартире благодаря отсутствию угарного газа СО и других продуктов неполного сгорания газа и твердого топлива; повысить взрыво- и пожаробезопасность зданий; осуществить автоматизацию процесса приготовления пищи путем использования терморегуляторов, термоограничителей и приборов программного управления, что обеспечивает экономию времени и электроэнергии на ведение домашнего хозяйства.

Стационарная напольная электроплита состоит из металлического корпуса с конфорками, установленными на рабочем столе, жарочного шкафа и регулировочной аппаратуры. Конфорки изготавливаются двух видов: из трубчатых нагревательных элементов (ТЭНов) и чугунные. Отечественные плиты выпускаются с чугунными конфорками. Чугунные конфорки состоят из корпуса с запрессованными в специальную изоляционную массу спиралями из нихрома или других материалов с высоким удельным сопротивлением. Выводные концы спиралей подключаются к винтам, установленным на термостойкой керамической колодке. Температура на поверхности конфорки 350—450 °С.

Таблица 1.1. Технические параметры стационарных электроплит

Тип электроплиты	Номинальная мощность, Вт	Конфорки			Мощность жарочного шкафа, Вт	Переключатель мощности—число позиций, тип	
		Количество	Диаметр, мм	Мощность, Вт		конфорки	жарочного шкафа
Лысьва-6 (Луч)	5100	1	145	800	1600	4; ПМ-4	4; ПМ-4
		1	180	1200			
		1	180	1500			
		1	145	1000			
Лысьва-7	5800	2	180	1500	1800	4; ПМ-4	4; ПМ-4
Лысьва-8, 9	5800	1	145	1000	1800	7; ПМ-7	4; ПМ-4
		2	180	1500			
Лысьва-10	5800	1	145	1000	1800	7; ПМ-7	5; ПМ-5 и терморегулятор
		2	180	1500			
Томь	5800	1	145	1000	1800	5, 7; ПМЭ-10	5; ПМ-5
		2	180	1500			
Электра-1001	8000	1	145	1000	2000	7; ПМЭР-1-7	Терморегулятор
		2	180	1500			
Нина-3, СФРЮ	6800	1	220	2000	1800	7	То же
		1	145	1000			
		1	180	2000			
		1	220	2000			
Нина-4, СФРЮ	6750	1	145	1000	1800	7	»
		1	145	1500			
		1	220	2000			
		1	80	450			
Е-426, СФРЮ	7400	1	145	1000	2400	7	»
		1	180	2000			
		1	220	2000			
Е-475, СФРЮ	6300	1	145	1000	1800	7	»
		1	180	1500			
		1	180	2000			
Е-404, СФРЮ	7300	2	145	1000	1800	7	»
		1	180	1500			
		1	180	2000			

гунные конфорки состоят из корпуса с запрессованными в специальную изоляционную массу спиралями из нихрома или других материалов с высоким удельным сопротивлением. Выводные концы спиралей подключаются к винтам, установленным на термостойкой керамической колодке. Температура на поверхности конфорки 350—450 °С.

Трубчатый нагревательный элемент представляет собой

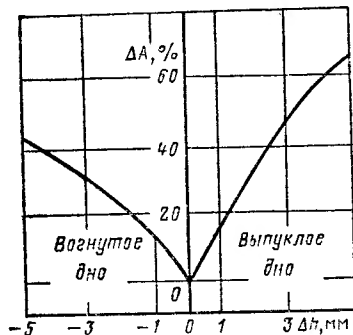


Рис. 1.1. Зависимость перерасхода электроэнергии от деформации дна посуды

ра на поверхности конфорки возрастает, и при длительном включении, что иногда имеет место, когда жильцы используют плиту для обогрева помещения, срок службы конфорки резко сокращается. Работа конфорки на полную мощность необходима только до момента доведения блюда до кипения, дальнейший процесс приготовления пищи требует значительно меньшей мощности, что достигается соответствующей установкой положения переключателя. Для экономии энергии необходимо использовать посуду с толстым дном, плотно прилегающим к поверхности конфорки. На рис. 1.1 приведены кривые, показывающие зависимость перерасхода электроэнергии от деформации дна посуды. В отличие от конфорок, передача теплоты которых происходит за счет теплопроводности, теплота в жарочных шкафах передается за счет конвекции и излучения от нагревательных элементов, располагаемых внизу и в верхней части шкафа.

Коэффициент полезного действия электроплит с чугунными конфорками составляет примерно 65, с ТЭНами — 75 %. Пределы регулирования температуры жарочного шкафа — от 50 до 300 °С.

За рубежом применяются автоматизированные плиты, в которых устанавливают бесступенчатые регуляторы мощности конфорок и программные устройства для жарочного шкафа. При этом расход электроэнергии сокращается на 15—20 %.

Кроме стационарных электроплит широко применяются различные переносные электроплитки. В настоящее время

специальную трубку, внутри которой (по оси) расположена нагревательная спираль, находящаяся в уплотненной изоляционной массе на основе периглаза. Температура на поверхности ТЭНов может достигать 400—600 °С. Указанные температуры на поверхности конфорок характерны при работе на полную мощность и наличии нормального теплоотвода. При отсутствии на конфорке сосуда, потребляющего тепло, температу-

на 100 семей в среднем приходится 32 электроплитки, которые в основном используются в качестве дополнительных приборов в домах с плитами на твердом и газообразном топливе, на дачах и садовых участках.

Электроплитки выпускаются четырех типов: с чугунными, штампованными стальными и трубчатыми конфорками и с ситалловым настилом. Сравнительные технические характеристики этих плиток приведены в табл. 1.2.

Наибольшее распространение имеют электроплитки со штампованными конфорками. Низкий КПД таких конфорок и большое время их разогрева приводят к перерасходу электроэнергии и большим затратам времени. В настоящее время перерасход электроэнергии оценивается не менее чем в 1 млрд. кВт·ч в год.

Работами Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова (АКХ) установлено, что оптимальной мощностью стационарной электроплиты является 7—7,5 кВт, что обеспечивает при наиболее целесообразном режиме приготовления всех видов пищи наименьший расход электроэнергии. Одним из новых видов нагревательных приборов для приготовления пищи являются индукционные плиты, в которых нагрев сосуда осуществляется за счет вихревых токов, возникающих в сосуде под действием электрического поля высокой частоты. Такие плиты оборудованы специальным встроенным преобразователем частоты и индукционными катушками. Коэффициент полезного действия таких плит достигает 90 %. В шкафах сверхвысокой частоты (СВЧ) нагрев продукта, находящегося внутри шкафа, происходит во всем объеме за счет энергии поля частотой примерно 2500 МГц, что сокращает срок приготовления отдельных блюд в 8—10 раз; СВЧ-шкафы используются как дополнение к плите.

Таблица 1.2. Технические характеристики электроплиток

Показатель	Тип конфорки			ТЭН
	Штампованная	Чугунная		
		обычная	экспресс	
Номинальная мощность, Вт	800	1000	1500	1000
Диаметр, мм	180	145	145	145
КПД, %	56	65	69	70—75
Время разогрева, мин	15	10	4	3—4
Срок службы, ч	2000	4000	4000	5000

Приборы для обработки и хранения продуктов. К ним относятся холодильники (компрессионные, абсорбционные, полупроводниковые), морозильники, универсальные кухонные электроприводы, картофелечистки, мясорубки, миксеры, кофемолки, соковыжималки и т. п. Большинство из перечисленных приборов специального описания не требует. Отметим некоторые особенности бытовых холодильников.

Наиболее распространенными (80 %) являются компрессионные холодильники. К недостаткам компрессионных холодильников относится шум при работе электродвигателя.

Абсорбционные холодильники (20 %) свободны от этого недостатка, однако они менее экономичны. Недостатком таких холодильников является их сравнительно малая холодопроизводительность при значительно большем потреблении энергии по сравнению с компрессионными. Полупроводниковые холодильники пока еще распространения не получили.

Хозяйственные приборы. К ним относятся: стиральные машины (неавтоматические, полуавтоматические, автоматические), пылесосы, полотеры, утюги, посудомоечные машины, электронинструмент, швейные машины и т. п.

Культурно-бытовые приборы: телевизоры, магнитофоны, радиоприемники, радиолы, проигрыватели, кинопроекторы, диапроекторы, электромузыкальные инструменты, электрифицированные игрушки. Отметим, что указанная группа приборов, особенно телевизоры, чувствительна к колебаниям напряжения, в связи с чем широко применяются местные стабилизаторы напряжения, главным образом феррорезонансные. Улучшая работу телевизоров, стабилизаторы ухудшают режим работы сети в целом, снижая коэффициент мощности и увеличивая потери энергии. В настоящее время у населения имеется свыше 25 млн. стабилизаторов и автотрансформаторов, на что расходуется до 600 млн. кВт·ч в год; кроме того, на их производство приходится тратить большое количество электротехнической стали и меди. Таким образом, использование этих устройств экономически невыгодно для народного хозяйства. Более целесообразным следует считать применение специальных устройств для регулирования напряжения в электрических сетях города.

Санитарно-гигиенические приборы: вентиляторы, увлажнители воздуха, фены, ионизаторы, надплитные кухонные фильтры, электробритвы, машинки для стрижки волос, щипцы для завивки волос, приборы для массажа, электро-

грелки, электроодеяла, ультрафиолетовые и другие облучатели и т. п.

За последние годы в нашей стране организовано производство и внедряются в быт комнатные стационарные кондиционеры. Бытовой компрессионный кондиционер типа БК-1500 потребляет мощность 1,3 кВт.

Электроводонагреватели (ЭВН). Существуют два типа водонагревателей: проточные и емкостные.

Проточные нагреватели нагревают воду непосредственно при ее потреблении. Они характеризуются сравнительно малыми габаритами при большой водопроизводительности. Однако такие ЭВН потребляют большую мощность (15—20 кВт). Недостатком проточных нагревателей является то, что их включение совпадает по времени с максимумом нагрузки энергосистемы.

Емкостные нагреватели по конструктивному исполнению можно подразделить на два типа: быстродействующие нагреватели с относительно небольшой вместимостью бака (5—10 л) и аккумуляционные с большой вместимостью бака, достигающей 300 л и более и имеющие теплоизоляцию бака. Емкостные водонагреватели потребляют меньшую мощность, чем проточные, но длительность нагрева воды значительно возрастает. Так, например, в аккумуляционных нагревателях время нагрева воды до 85 °С достигает 8 ч. Нагреватели вместимостью 100—160 л потребляют мощность не более 3—4 кВт. Малообъемные нагреватели включаются незадолго до потребления воды и могут оказаться включенными в часы максимальных нагрузок энергосистемы.

Аккумуляционные водонагреватели включаются в периоды минимальных нагрузок системы, как правило, в ночное время. Кроме того, благодаря включению этих нагревателей в часы провалов графиков энергосистемы, иногда не требуется увеличивать пропускную способность электросети, чего нельзя избежать при установке проточных.

Применение аккумуляционного водонагрева экономически выгодно энергоснабжающим организациям. За рубежом в целях стимулирования потребления электроэнергии в часы провала графиков нагрузок применяются сниженные тарифы на электроэнергию на этот период, что дает огромную выгоду и потребителям.

В СССР выпускаются электроводонагреватели типа БАС (быстродействующие атмосферного давления настенные) и УНС (аккумуляционные низкого давления настенные).

Таблица 1.3. Удельные нагрузки в элементах трехфазной сети,

Тип и характеристики электроводонагревателей	Режим работы ЭВН	создаваемые ВН, кВт/квартира	
		1—3	6
АВН-100 $P=1,25$ кВт, $W=8,75$ кВт·ч	Ночной — с 23 до 7 ч; $T=8$ ч	1,25	1,25
АВН-200 $P=2$ кВт, $W=17$ кВт·ч	Свободный; $T=24$ ч Ночной — с 23 до 7 ч; $T=8$ ч	1,25 2	1,25 2
ЭВН-10 $P=1,25$ кВт, $W=2$ кВт·ч	Свободный; $T=24$ ч Свободный, с 6 до 21 ч; $T=15$ ч	2 1,25	2 0,65

Примечание. T — число часов работы.

создаваемые ВН, кВт/квартира

Число квартир, присоединенных к элементам сети								
9	12	24	60	100	200	300	400	
1,25	1,25	1,2	1,2	1,16	1,1	1	0,95	
1,1 2	0,9 2	0,7 2	0,6 2	0,55 1,9	0,5 1,75	0,47 1,6	0,45 1,5	
1,8 0,45	1,7 0,4	1,55 0,3	1,4 0,25	1,2 0,22	1 0,2	0,9 0,18	0,8 0,18	

ные). Электронагреватели типа БАС-5 и БАС-10 имеют объем соответственно 5 и 10 л. Мощность нагревательного элемента у обоих электроводонагревателей 1,25 кВт.

Основные параметры наиболее распространенных аккумуляционных электроводонагревателей приведены ниже:

Тип электроводонагревателя	УНС-50	УНС-80	УНС-100
Вместимость бака, л	50	80	100
Мощность, кВт	1,25	1,25	1,25
Максимальная температура воды, °С	85	85	85
Время нагрева воды, ч	3,2	6,3	7,8
Скорость остывания воды, град/ч	0,7	0,7	0,7
Масса, кг	30	40	46

Водонагреватели имеют встроенные автоматические устройства для отключения нагревательного элемента при достижении температуры воды 85 °С.

Установка электроводонагревателей в жилых домах в настоящее время целесообразна, так как требует обычно усиления электрических сетей из-за повышения электрических нагрузок. Однако в некоторых районах страны, где затруднена доставка топлива, и в ряде южных районов внедрение электроводонагревателей уже сегодня может быть подтверждено экономическими расчетами. В настоящее время для установки электроводонагревателя необходимо получить разрешение энергоснабжающей организации. Согласно предварительным расчетам ориентировочные

удельные нагрузки на квартиру при установке электроводонагревателей приведены в табл. 1.3.

Электрическое отопление. Применение электрического отопления жилых помещений для большинства районов нашей страны, особенно при теплоснабжении от теплоэлектроцентралей, в настоящее время экономически не оправдывается. Однако уже сейчас электрическое отопление находит применение в районах с избытком гидроэлектроэнергии, дорогим привозным топливом, в некоторых южных районах страны, имеющих плюсовые температуры в зимнее время, в курортных зонах.

Благоприятные перспективы развития новых способов получения электроэнергии в будущем определяют целесообразность ее использования для заполнения графиков нагрузок энергосистем¹. Поэтому необходимо в данной главе рассмотреть в самых общих чертах известные в настоящее время устройства электроотопления.

Системы электрического отопления жилых зданий можно подразделить на две группы: полное электроотопление и частичное электроотопление. При полном электроотоплении все необходимое количество тепла поступает в помеще-

¹ Сфера применения электроводонагрева и электроотопления будет постепенно расширяться. Как показывают работы ряда организаций, электрификация систем горячего водоснабжения и теплоснабжения, несмотря на некоторый перерасход топлива в целом, позволяет значительно сократить расход высококачественного органического топлива

ние от одного энергоносителя — электричества. При частичном отоплении основное потребление тепла идет из системы централизованного или децентрализованного отопления, а при пиковых нагрузках недостатки тепла покрываются приборами электроотопления. Полное электроотопление может осуществляться централизованно от электрочкалов или децентрализованно индивидуальными отопительными электроприборами.

Электрочкалы могут работать в режиме непосредственного отопления круглосуточно или в аккумуляционном режиме, при котором они подключаются к электросети только в часы провала графиков нагрузки. В последнем случае рядом с чкалом устанавливается бак, наполненный теплоаккумулирующей жидкостью (водой) и имеющий хорошую теплоизоляцию. При индивидуальном отоплении приборы устанавливаются, как правило, в каждой комнате квартиры, в отдельных случаях возможно отопление нескольких комнат одним прибором.

По принципу преобразования электрической энергии в тепловую электроотопительные приборы могут быть подразделены на приборы прямого отопления и тепловые насосы. В первых происходит прямое преобразование электроэнергии в теплоту, во вторых — отбор теплоты у среды с более низкой температурой и передача его среде с более высокой температурой.

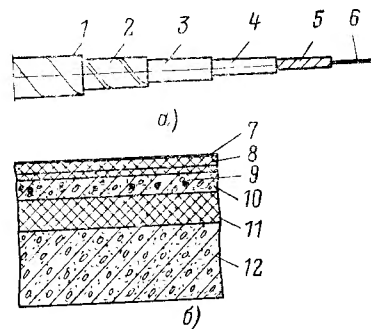
Следует различать электроотопительные приборы непосредственного действия, в которых теплота сразу же поступает в помещение, и приборы с аккумулярованием теплоты, в которых преобразование электроэнергии и накопление теплоты происходят в часы минимальных нагрузок электросети, а расход запасенной теплоты — в течение длительного времени, в том числе и после отключения прибора. К первым относятся электрорадиаторы, камины, конвекторы, греющие обон и плинтусы, тепловые насосы, ко вторым — аккумуляционные электрочкалы и греющие кабели, заделанные в строительные конструкции зданий. Кроме того, электроотопительные приборы различаются своим конструктивным исполнением — напольные, настенные, настольные, универсальные и способом теплоотдачи — радиационные, конвективные и универсальные.

Электроотопительные приборы могут быть нерегулируемые и иметь ступенчатые, бесступенчатые и автоматические регуляторы.

На рис. 1.2 схематически показаны конструкция греюще-

Рис. 1.2. Схема устройства электроотопления с помощью греющего кабеля:

а — греющий кабель; б — разрез теплового пола; 1 — обложка из термоласта; 2 — свинцовый чулок; 3 — силиконовая обложка; 4 — стеклоткань; 5 — фольга; 6 — нагревательная жила; 7 — линолеум; 8 — настиль (дерево); 9 — кабель; 10 — цементная стяжка; 11 — пенобетон; 12 — железобетонное перекрытие



го кабеля и разрез перекрытия. Такая система используется в качестве полуаккумуляционного или аккумуляционного отопления в зависимости от конструкции пола. При электрическом обогреве удельная мощность составляет 120—150 Вт/м² пола. По гигиеническим соображениям температура на поверхности пола не должна превышать 25—27 °С, поэтому на 1 м длины греющего кабеля мощность не должна превышать 20—25 Вт. Допустимая рабочая температура изоляции греющих кабелей (65—105 °С) обеспечивает их эксплуатацию примерно в течение 50 лет. Теплоаккумуляционные электрические печи в зависимости от конструктивного исполнения и характера теплоотдачи бывают трех видов.

В печах первого вида теплоаккумулирующий сердечник выполняют из жаростойкого бетона, магнезита, стеатита и других материалов, между которыми находятся нагревательные элементы. Снаружи размещается теплоизоляционный слой шамота, облицованный кафелем или пластмассой. Теплоаккумулирующий сердечник разогревается до 300—600 °С, в то время как на поверхности печи температура не превышает 60—70 °С. Теплоотдача происходит за счет излучения и конвекции. Недостатком печей первого вида является отсутствие возможности регулирования теплоотдачи и понижение температуры к вечеру, что затрудняет их использование в жилых домах.

Печи второго вида имеют в центральной части аккумуляющего сердечника воздушные каналы, снабженные специальными клапанами. Первоначально теплоотдача происходит с поверхности печи, а затем по мере снижения температуры в помещении клапаны могут приоткрываться и дополнительная теплоотдача идет за счет конвекции воздуха через каналы.

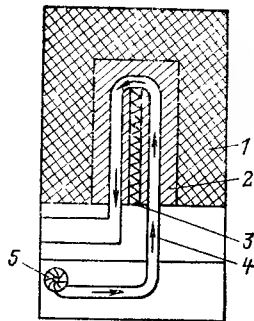


Рис. 1.3

Рис. 1.3. Схема аккумулирующей печи с регулируемой теплоотдачей: 1 — теплоизоляционный слой; 2 — теплоаккумулирующий сердечник (например, магнезитовый кирпич); 3 — нагреватель; 4 — канал нагретого воздуха; 5 — вентилятор

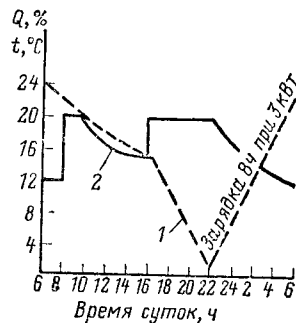


Рис. 1.4

Рис. 1.4. Кривая режима аккумуляционной печи третьего вида

Наиболее совершенную конструкцию имеют печи третьего вида, в которых поток теплоты через воздушные каналы осуществляется с помощью встроенного вентилятора (рис. 1.3). Теплоотдача с поверхности таких печей меньше, чем в печах первого и второго вида, за счет усиленной теплоизоляции. Управление включением и отключением электродвигателя вентилятора осуществляется терморегулятором.

На рис. 1.4 приведены кривые режима работы аккумуляционной печи третьего вида мощностью 3 кВт. Пунктирная кривая 1 показывает процесс теплоотдачи (разряда) и накопления теплоты (заряда) Q , %, печи в течение суток. Кривая 2 показывает изменения температуры в помещении.

Наиболее стабильная температура выдерживается в период с 16 до 22 ч, затем температура к утру снижается до 10 °C. С 22 до 6 ч идет заряд печи. Утром включается вентилятор и происходит быстрый подъем температуры в помещении до 20 °C. В период отсутствия жильцов с 8 до 16 ч происходит теплоотдача только от наружных поверхностей. Управление такими печами целесообразно осуществлять с диспетчерских пунктов энергосистем или микрорайонов. Недостатком аккумуляционных печей является их большая масса (до 75—100 кг на 1 кВт мощности), громоздкость и высокая стоимость.

С целью уменьшения габаритов аккумуляционных печей иногда применяются полуаккумуляционные печи. В них теплота накапливается за 2—4 ч, в остальное время (после достижения требуемой температуры) они работают как приборы непосредственного действия. В периоды вечернего и дневного максимумов печи отключаются от сети. Широкого распространения полуаккумуляционные печи не имеют. Электроотопление не имеет преимуществ по сравнению с централизованным теплоснабжением от ТЭЦ, так как вызывает значительный перерасход топлива.

В небольших городах и поселках с централизованным теплоснабжением от мелких котельных (домовых, квартальных) или децентрализованным — печи на твердом и газовом топливе, электроотопление имеет некоторые преимущества. К ним относятся: снижение потерь теплоты за счет поддержания температуры в помещении на заданном уровне; улучшение микроклимата в квартире; снижение расходов на транспортировку топлива; отсутствие необходимости в складах; улучшение воздушной среды микрорайона.

Кроме того, электроотопление может быть использовано благодаря возможности включения его в часы провалов графика нагрузки. Благодаря этому на базовых электростанциях уменьшается перерасход топлива во внепиковые часы. Однако электроотопление требует больших расходов электроэнергии, что приводит к необходимости значительных затрат на устройство электросетей. Годовой расход электроэнергии превышает в 5 раз расход электроэнергии на квартиру с водяным отоплением.

При расчетах нагрузок элементов электрической сети, создаваемых установками полного электроотопления, необходимо учитывать значения коэффициента спроса, приведенные в табл. 1.4.

Расчетная вероятность включения приборов электроотопления, характеризующая режим их работы, определяется на основании теплотехнических расчетов:

$$\bar{p} = \frac{W_{\text{сут}}}{P_{\text{уст}} T}, \quad (1.1)$$

где $W_{\text{сут}}$ — суточный расход электроэнергии электроотопительными приборами, кВт·ч; $P_{\text{уст}}$ — установленная мощность приборов электроотопления, кВт; T — время включения, ч.

Тепловые насосы. Особую группу перспективных систем электроотопления составляют так называемые тепловые на-

Таблица 1.4. Коэффициенты спроса электроотопительных установок

Режим работы электроотопительных приборов	Расчетная вероятность включения приборов электроотопления	Число квартир, присоединенных к элементам трехфазной сети									
		1—3	6	9	12	24	60	100	200	300	400
Ночной с 23 до 3 ч; $T=8^{\circ}\text{C}$	1	1	1	1	1	1	1	0,98	0,965	0,93	0,915
Свободный в течение суток; $T=24^{\circ}\text{C}$	0,7	1	1	1	0,98	0,93	0,88	0,83	0,78	0,76	0,68

сосы. Тепловые насосы бывают компрессионные и полупроводниковые.

На рис. 1.5, а показана принципиальная схема компрессионного теплового насоса, работающего в режиме отопления. Система, состоящая из компрессора К, конденсатора А и испарителя Б, заполнена фреоном или другой жидкостью, кипящей при низких температурах. Испаритель Б находится вне отапливаемого помещения, а конденсатор А — внутри. Фреон, испаряясь в испарителе, отбирает теплоту у наружного воздуха. С помощью компрессора фреон сжимается и в нагретом виде подается в конденсатор, с поверхности которого отдает теплоту в помещение. Жидкий фреон из конденсатора поступает в испаритель, где вновь испаряется, и процесс повторяется. Для циркуляции наружного воздуха в кожухе испарителя служит вентилятор В1, а для циркуляции комнатного воздуха в кожухе конденсатора — вентилятор В2.

Этот же прибор может работать в режиме охлаждения в летнее время (рис. 1.5, б). Для этой цели служит переключающий клапан П, с помощью которого изменяется направление потока фреона, в результате чего конденсатор становится испарителем, а испаритель конденсатором, и процесс идет в обратном направлении. Стрелочками на рисунках показано направление протекания фреона.

Тепловой насос может быть построен на основе прин-

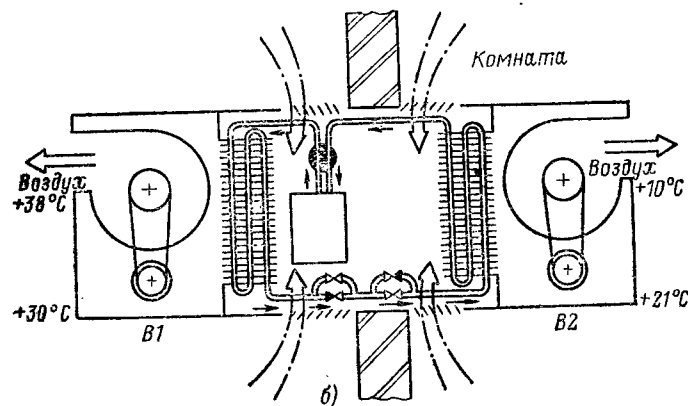
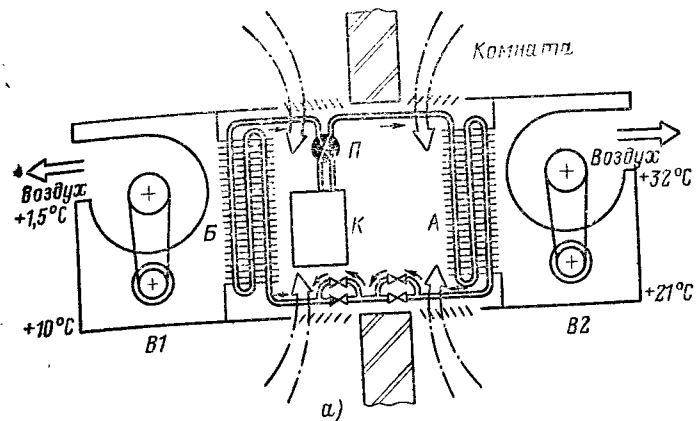


Рис. 1.5. Схема работы теплового насоса воздух—воздух в режимах отопления (а) и охлаждения (б)

ципа термоэлектрического генератора, заключающегося в том, что при прохождении постоянного тока через спай двух разнородных металлов в местах спаев на одном конце происходит отдача, а на другом — поглощение теплоты. Если холодный спай поместить в холодную среду, а горячий — в более теплую, то при прохождении тока холодный спай будет поглощать теплоту из окружающей среды (наружного воздуха), а горячий — отдавать теплоту в помещение. Вместо разнородных металлов могут быть исполь-

зованы полупроводники, у которых тепловой эффект возникает на границе слоев с электронной и дырочной проводимостью.

Наиболее важное достоинство теплового насоса состоит в том, что количество передаваемой им энергии может в несколько раз превышать затраты энергии от внешнего источника. Количественно это может быть выражено отопительным коэффициентом

$$K_o = \frac{T_{гор}}{T_{гор} - T_{хол}}, \quad (1.2)$$

где $T_{гор}$, $T_{хол}$ — температуры источника теплоты (наружного воздуха) и воздуха, поступающего в помещение.

Теоретически отопительный коэффициент может достигать значения 30 и более, однако в реальных конструкциях он не превышает 4—5, так как имеют место большие потери в элементах установки.

Тепловые насосы могут отбирать теплоту как у среды с положительной, так и с отрицательной температурой. Однако при отрицательной температуре на теплообменных поверхностях образуется иней и наледь, что резко снижает теплообменный эффект.

Отопительный коэффициент тем выше, чем меньше разность температур наружного и внутреннего воздуха. Поэтому наиболее целесообразно применение тепловых насосов в районах с мягкой зимой и жарким летом (с учетом обратимости их действия). Могут также найти применение в будущем тепловые насосы, снабженные дополнительными электронагревателями, отключаемыми с помощью циркулярного телеуправления в часы максимума энергосистем.

В качестве источников теплоты может быть использовано тепло земли и естественных водоемов.

Кроме того, повышение экономичности отопительных установок с теплонасосами может быть достигнуто за счет использования теплоты геотермальных вод с температурой, недостаточной для непосредственного использования, утилизации теплоты отходящих газов, использования солнечной радиации, применения тепловых насосов одновременно и для летнего кондиционирования воздуха.

Общедомовые электроприемники. К общедомовым приемникам относятся:

а) осветительные установки лестничных клеток, технических подпольев и подвалов, чердаков, вестибюлей, холлов, коридоров, мусорокамер, машинных помещений и шахт

лифтов, установки праздничной иллюминации, заградительные огни и т. д.;

б) силовые установки грузовых и пассажирских лифтов, вентиляционных систем, устройств дымозащиты, в отдельных случаях — насосы противопожарного и хозяйственного водоснабжения;

в) усилители и другая аппаратура систем коллективного приема телевизионных передач, трансформаторы радиотрансляции;

г) машины для механизированной уборки лестниц, коридоров и т. п.;

д) элементы диспетчеризации, кодовые замки, домофоны.

Электрическое освещение. Для освещения лестниц, вестибюлей, холлов, коридоров до последнего времени применялись лампы накаливания. В настоящее время внедряется люминесцентное освещение, позволяющее без перерасхода энергии создать более высокие уровни освещенности. Кроме того, люминесцентные лампы имеют существенно больший срок службы и менее чувствительны к колебаниям напряжения.

Для освещения прочих помещений применяются лампы накаливания. В технических подпольях, мусорокамерах, машинных отделениях лифтов, в насосных, на чердаках используются светильники во влагозащищенном исполнении. При прокладке газопроводов в технических подпольях выключатели выносятся наружу.

Силовые электроприемники. К ним в первую очередь относятся электродвигатели и другие электроприемники лифтовых установок. В жилых домах в зависимости от этажности устанавливаются один, два или три лифта грузоподъемностью 350, 400, 500 и 1000 кг. Скорости лифтов 0,5 м/с в девятиэтажных домах и 1; 1,4; 1,6 и 2 м/с — при большей этажности.

Пассажирские лифты оборудуются, как правило, двухскоростными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами серии АС в малошумном исполнении. Для особо крупных и высоких зданий применяются лифты с электроприводом по системе генератор — двигатель на постоянном токе или электродвигатель постоянного тока, подключаемый к сети переменного тока через выпрямители. В систему электропривода лифта входят электромагнитный тормоз и аппаратура управления.

К силовым электроприемникам относятся электродвига-

тели вентиляторов и насосов, работающих в системах санитарно-технических и противопожарных устройств зданий, и различные электромагниты для открывания клапанов и люков систем дымоудаления зданий высотой более десяти этажей, а также аппаратура связи и сигнализации.

1.2. ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Согласно СНиП II—Л.2—72 к общественным относятся здания:

- 1) организаций и учреждений управления, партийных, комсомольских и других общественных организаций;
 - 2) учреждений финансирования, кредитования и государственного страхования;
 - 3) библиотек, читальных залов, архивов;
 - 4) учреждений просвещения: общеобразовательных и специальных школ, профессионально-технических училищ, высших и средних специальных учебных заведений;
 - 5) детских дошкольных учреждений — яслей и детских садов;
 - 6) предприятий торговли: продовольственных, промтоварных магазинов, универсамов и универсамов, специализированных магазинов, рынков;
 - 7) предприятий общественного питания: столовых, кафе, ресторанов, баров, закусочных и др.;
 - 8) предприятий бытового обслуживания населения: ателье и мастерских по ремонту и изготовлению металлоизделий и часов, ремонту радио- и телевизионной аппаратуры, бытовых машин и приборов, транспортных средств, ремонту и изготовлению мебели, кожгалантереи, парикмахерских, бань, прачечных, пунктов проката, фотографий, фабрик химической чистки и крашения одежды, ателье по ремонту и вязке трикотажных изделий, предприятий по ремонту квартир и т. п.;
 - 9) гостиниц, домов колхозников;
 - 10) лечебных учреждений: больниц, общих и специализированных, поликлиник, аптек, медицинских пунктов и т. д.;
 - 11) музеев, выставочных залов;
 - 12) зрелищных предприятий: театров, кино и киноконцертных залов, цирков, домов культуры, клубов;
 - 13) спортивных сооружений.
- Перечисленные выше здания и сооружения имеют самые различные назначения, и в них осуществляются разно-

образные технологические процессы, при которых используется большое число электроприемников.

Условно все электроприемники общественных зданий могут быть разделены на две большие группы: осветительные и силовые.

Осветительные установки. В основных помещениях общественных зданий в целях экономии электроэнергии и получения высоких уровней освещенности, как правило, используются светильники с люминесцентными лампами в исполнении, соответствующем условиям среды и выполняемой работы. Следует считать перспективным использование в некоторых помещениях современных металлогалогенных ламп.

Во вспомогательных помещениях, складах и кладовых применяются лампы накаливания. В ряде случаев для целей архитектурного и декоративного освещения также применяются светильники в специальном исполнении с лампами накаливания.

Устройства электрического освещения, как правило, включаются в часы пика нагрузок энергосистемы, поэтому снижение потребляемой мощности имеет большое значение. В табл. 1.5 приведены средние данные расчетной мощности некоторых общественных зданий массового строительства.

Как видно из табл. 1.5, доля расчетной мощности осветительных установок в общей потребляемой мощности зданий составляет от 11,5 до 43,7 %, а в некоторых крупных общественных зданиях может оказаться еще выше.

Нормы освещенности и качественные показатели освеще-

Таблица 1.5. Расчетная мощность осветительных установок в общественных зданиях массового строительства

Здания	Расчетная мощность электроосвещения, кВт	Суммарная расчетная мощность, кВт	Доля нагрузок от освещения в общей нагрузке по зданию, %
Столовые на 200 мест	26,9	233,6	11,5
Кафе	29,8	179,1	16,6
Магазины площадью 1000 м ²	80,9	274,2	29,5
Школы на 1000 учащихся	137,4	335	41
Детские дошкольные учреждения на 12 групп	37,1	91,6	40,5
Профтехучилища на 1000 учащихся	109	312,6	36,9
Предприятия бытового обслуживания	54,1	123,6	43,7

тельных установок. Количественные и качественные характеристики осветительных установок регламентируются строительными нормами и правилами по естественному и искусственному освещению, в зависимости от характера зрительной работы и других требований. К таким характеристикам относятся горизонтальная и вертикальная освещенность (количественные характеристики); цилиндрическая освещенность, коэффициент пульсации и показатель дискомфорта (качественные характеристики). Все эти показатели определяются специальными расчетами при проектировании.

Системы и виды освещения. При освещении зданий применяются общее и комбинированное освещение. Система общего освещения может быть равномерной, с примерно равной освещенностью во всех точках освещаемой поверхности, и локализованной, с повышенной освещенностью в некоторых требуемых зонах. В этом случае достигается экономия электроэнергии по сравнению с равномерным освещением.

Комбинированное освещение состоит из общего равномерного и местного с установкой светильников на рабочих местах. В некоторых помещениях (подвалы, тепловые пункты, электрощитовые помещения и др.) применяется переносное освещение на пониженном напряжении до 42 В.

По функциональному назначению различают рабочее, аварийное и эвакуационное освещение. Рабочее освещение (чаще всего совместно с эвакуационным и аварийным) создает освещенность, требуемую нормами для выполнения зрительной работы в данном помещении. Аварийное освещение дает возможность продолжать работу при погасании рабочего. Эвакуационное освещение позволяет людям безопасно выйти из помещений, где погасло рабочее освещение.

Нормы строго регламентируют, в каких помещениях должны устраиваться те или иные виды освещения.

Источники света. Для искусственного освещения применяются лампы накаливания и газоразрядные. Лампы накаливания характеризуются низкой светотдачей (7—22 лм/Вт), относительно малым сроком службы (1000 ч) и чувствительностью к изменениям напряжения. Несмотря на эти недостатки, лампы накаливания широко распространены благодаря простоте конструкции и дешевизне. Кроме того, они обладают высоким коэффициентом мощности ($\cos \varphi = 1$). Лампы накаливания выпускаются на стандарт-

ные напряжения мощностью от 15 до 1500 Вт. Выпускаются зеркальные лампы накаливания мощностью от 40 до 1000 Вт с широким средним и концентрированным светораспределением.

В последние годы находят применение галогенные лампы накаливания, в колбу которых вводятся галогениды (фтор, бром, йод, хлор). В результате светотдача этих ламп увеличивается до 22 лм/Вт и срок службы повышается вдвое.

Из общего светового потока, излучаемого всеми осветительными установками в нашей стране, на долю газоразрядных ламп приходится 75 %. Большинство газоразрядных ламп являются люминесцентными. Они имеют высокую светотдачу — до 80 и даже 100 лм/Вт. Это позволяет повысить освещенность в 2—4 раза без увеличения пропускной способности сети и повышения потребляемой мощности. Наибольшее распространение имеют лампы мощностью 20, 40, 65 Вт. С 1985 г. начат выпуск энергоэкономичных ламп мощностью 18, 36 и 58 Вт, у которых светотдача увеличена на 8—10 %. Благодаря высокой светотдаче и значительно более длительному сроку службы (до 12 000 ч) они находят все более широкое применение.

В общественных зданиях и некоторых промышленных находят все более широкое применение металлогалогенные лампы (МГЛ) мощностью от 125 до 700 Вт и более. Благодаря применению этих ламп с установкой на большой высоте (7—8 м) резко уменьшается число светильников, а следовательно, сокращается электросеть и упрощается эксплуатация. Средние сравнительные характеристики различных источников света приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6. Энергетическая эффективность источников света (средние данные)

Источник света	Относительная установленная мощность лампы, %	Световая отдача (средняя), лм/Вт	Коэффициент, учитывающий потери в ПРА
Люминесцентные лампы типа ЛБ	100	70	1,2
Металлогалогенные лампы	77	83	1,1
Лампы накаливания при снижении освещенности на одну ступень	220	15,3	—
То же на две ступени	150	15,3	—
То же на пять ступеней	100	15,3	—

Таблица 1.7. Технические характеристики компактных ламп

Тип лампы	Мощность, Вт	Напря- жение, В	Ток, А	Световой поток, лм	Вес
КЛ 7/ТБЦ	7	45	0,18	400	40
КЛ 9/ТБЦ	9	60	0,17	600	45
КЛ 11/ТБЦ	11	90	0,155	900	55
КЛС 9/ТБЦ	9	220	0,093	425	470
КЛС 13/ТБЦ	13	220	0,125	600	470
КЛС 18/ТБЦ	18	220	0,18	900	520
КЛС 25/ТБЦ	25	220	0,27	1200	600

В настоящее время разработана и внедряется в производство новая серия источников света, получивших название компактных ламп (типы КЛ и КЛС). Они представляют собой одну или две разрядные трубки, имеющие арго-ртутное заполнение. При этом ртуть находится в связанном состоянии в виде амальгамы, что обеспечивает снижение опасности ртутного заражения окружающей среды при механическом повреждении трубки.

Трубки и ПРА размещаются в пластмассовом баллоне, имеющем обычный цоколь Е-27. Технические характеристики КЛ и КЛС приведены в табл. 1.7.

Недостатком компактных ламп является длительное их разгорание (до 10 мин), однако через 2 мин световой поток достигает 75 %. Срок службы этих ламп 500 ч.

Светильники и их размещение. Основными характеристиками светильников являются их светотехнические и конструктивные особенности. Светораспределение светильников характеризуется долей светового потока (в процентах от общего), излучаемого в нижнюю полусферу, и типами кривых силы света.

Светильники прямого света (П) излучают в нижнюю полусферу 80 % светового потока; преимущественно прямого света (П) — от 60 до 80 %; рассеянного света (Р) от 40 до 60 %; преимущественно отраженного (В) — от 20 до 40 %; отраженного (О) — менее 20 %.

Типы кривых силы света имеют следующие обозначения: К — концентрированная (наибольшая силы света в зоне угла от 0 до 15°); Г — глубокая (0—30 и 180—150°); Д — косинусная (0—35 и 180—145°); Л — полуширокая (35—55 и 145—125°); Ш — широкая (55—85 и 125—95°); М — равномерная (0—90 и 180—90°); С — синусная (70—90 и 110—90°).

Таблица 1.8. Технические данные некоторых типов светильников с люминесцентными лампами для общего освещения помещений общественных зданий

Наименование серий, типы	Количество ламп	Мощность ламп, Вт	Класс светораспределения	Тип кривой силы света	КгД %	
					общий	в нижнюю полусферу
УСП	2, 4, 6	20, 40	П	Д	50—60	45—60
Л2010М	2, 4, 6	20, 40, 65	Н, П	Д	50—55	45—70
ЛПО02	2, 4, 1	20, 40, 65	Н, П	Д, Г	52—57	48—52
ЛПО03/	1	20, 40	П, Н, Р	Д, Г	65—80	48—65
ЛПО09	1	40	П, Р	Д	65—80	65—80
ЛПО12 (кососвет)	1	40, 80	П	Г	70	70
ЛПО13	2, 4	40	П	Г	55	55
ЛПО16	1	20, 40	Н	Д	60	45
ЛПО21	2, 4	20, 40, 65	Н	Д	60	48
ЛПО22	2, 4, 6	20	Н	Д	55	48
ЛПО25	2, 4	40	П	Д	50	50
ЛПО26	1	20, 40	Н	Д	50—55	40—45
ЛПО28	2	20, 40, 65	Р	Д	75	47
ЛПО30	1, 2	20, 40, 65	Р, Н, П	Г	60—80	18—60
ЛПО31	2	40	Р	Д	60—70	35—40
ЛСО02	2	40	Р	Д	70	30
ЛСО04	2, 4	40, 65	Р	Д	70	30
ШОД, ЛСО-05	2	40, 80	Р	Г	85	42
ЛВО01 (встроенные)	2, 4	20, 40, 65	П	Д, Г	55	55
ЛВО02 (встроенные)	2	20	П	Д	55	55
ЛВО03 (встроенные)	2, 4	10, 65	П	Д	50	50
ЛВО05 (встроенные)	2	40	П	Д	50	50
ЛПБ20	2	20, 40	Н	Д	60	60
ЛВП05-4×65	4	65	П	Д	52	—
ГВО02-175*	1	175	П	Г	55	—
ГВО02-125*	1	125	П	Г	55	—
ГПО02-175*	1	175	П	Г	60	—
ГПО02-125*	1	125	П	Г	60	—
ЛПО33-2×36	2	36	П	Д	55	—
ЛПО33-2×58	2	58	П	Д	55	—

* В светильниках устанавливаются лампы типа ДРИ.

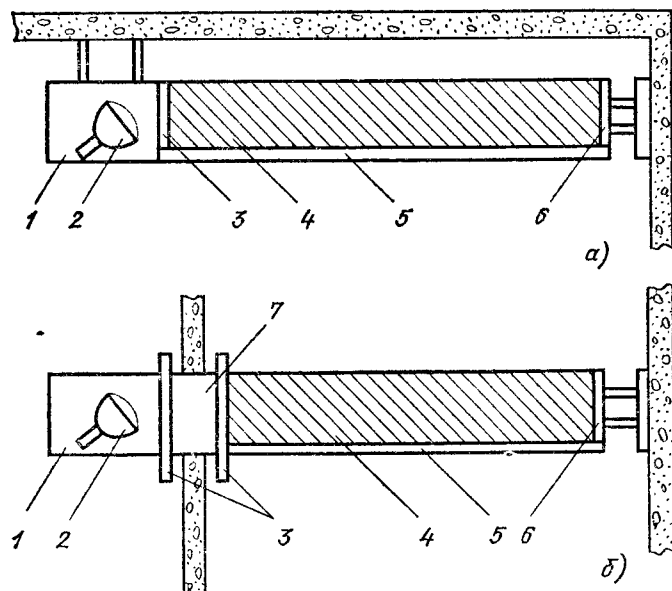


Рис. 1.6 Комплексные осветительные устройства со щелевыми световодами

В табл. 1.8 приведены технические данные некоторых типов светильников, применяемых в общественных зданиях.

Перспективными светозымы приборами для освещения многих помещений общественных зданий являются комплексные осветительные устройства (КОУ) со щелевыми световодами. В качестве источника света в КОУ применяются зеркальные металлогалогенные лампы — светильники типа ДРИЗ, ЛФМГ и зеркальные лампы накаливания типа ЗК.

Световой поток от источника света, расположенного в торце светового канала (световода), перераспределяется вдоль световода за счет многократных отражений от зеркальной поверхности канала и, рассеиваясь, выходит в освещаемое помещение через оптическую щель.

В светильниках с лампами ДРИ устанавливаются ПРА на напряжение 380 В, что обеспечивает увеличение световой отдачи и срока службы, но ведет к резкому снижению $\cos \varphi$ до 0,35.

При этом рекомендуется потери напряжения определять с учетом индуктивности для правильного выбора проводки.

Комплексное осветительное устройство (рис. 1.6) состоит из следующих основных узлов: камеры 1 с источником света 2, прозрачного иллюминатора 3, канала щелевого световода 4 с продольной светопропускающей полосой 5, торцевого элемента 6 и блока пускорегулирующих аппаратов (на рисунке не показан). При необходимости установки КОУ во взрывоопасных и пожароопасных помещениях они имеют переходный элемент 7 (рис. 1.6, б).

Применение КОУ обеспечивает сокращение числа светильников по сравнению с люминесцентными в 6—8 раз при той же освещенности, сокращение протяженности электрической сети, упрощение эксплуатации. Однако КПД их пока невысок — 0,4.

Для освещения общественных зданий разработана серия плоских световодов, отличающихся от КОУ более эстетичной конструкцией и более широкими возможностями применения с точки зрения архитектуры.

В табл. 1.9 приведена номенклатура этих световодов.

Таблица 1.9. Номенклатура плоских световодов

Тип устройства	Тип источника света	Количество источников света	Суммарная мощность, Вт	КПД устройства, %	Степень защиты ВУ
УПС-3×400	ДРИЗ 400-1	3	1200	55	IP54
УПС-3×250	ДРИЗ 250-1	3	750	55	IP54
УПС-2×400+500	ДРИЗ 400-1+ +ЗК215-225-500	2+1	1300	55	IP54
УПС-2×250+500	ДРИЗ 250-1+ +ЗК215-225-500	2+1	1000	55	IP54

Силовые установки. В зависимости от выполняемых технологических операций к силовым относятся электроприемники механического оборудования, электротеплового оборудования, холодильных машин, подъемно-транспортного оборудования, санитарно-технических установок, связи, сигнализации и противопожарных устройств, аппаратуры управления и других видов технологического оборудования.

Объем данной книги не позволяет описать большое количество электроприемников, применяемых в общественных зданиях. Как правило, соответствующие данные выдаются электрикам для проектирования технологами. В табл. 1.10 приведены технические характеристики некоторых видов оборудования, наиболее распространенного в массо-

Т а б л и ц а 1.10. Технические характеристики силовых электроприемников предприятий торговли и общественного питания

Наименование оборудования	Тип оборудования	Установлен- ная мощность, кВт	Номиналь- ный ток, А	Число фаз	cos φ	КПД
Холодильное оборудование						
Секция низкотемпературная	СН-015	0,39	1,3	3+0	0,61	0,73
Прилавок холодильный низкотем- пературный	ПХН-1-04М	0,43	1,4	3+0	0,61	0,73
Прилавок-витрина для буфетов	ПВШ	2,79	6,7	3+0	0,8	0,8
Прилавок-витрина самообслужи- вания	ПВХС-1-04 (ПИНГВИН-ВС)	0,43	1,4	3+0	0,64	0,73
Прилавок-витрина	ПВХС-1-063 (ТАИР-146)	0,7	2,2	3+0	0,78	0,67
Витрина для хранения бутылок	ВХВ-1-008	0,21	0,6	1+0	—	—
Прилавок холодильный низкотемпе- ратурный	ПХН-2-20М	3,5	7,8	3+0	0,83	0,82
Прилавок холодильный среднетем- пературный	ПХС-2-2	2,5	6,3	3+0	0,8	0,82
Витрина холодильная среднетемпе- ратурная	ВХС-2-4К	3,4	7,6	3+0	—	—
Шкаф холодильный	ШХ-080М	0,29	0,9	3+0	0,68	0,65
Шкаф холодильный	ШХ-140К	0,4	1,3	3+0	0,69	0,68
Секция-стол с охлаждаемым шка- фом секционная модулируемая	СОЭСМ-3	0,43	1,4	3	0,68	0,73
Льдогенератор	ТОРОС-2	0,4	3	1+0	0,6	—
Камера холодильная сборно-раз- борная	КХС-2-12	1,56	3,9	3+0	0,83	0,77
Шкаф индукционного охлаждения	ШХ-И	5,5	13,7	3+0	—	—
Механическое оборудование						
Машина универсальная	ПМ-11	1,1	2,76	3+0	0,81	0,75
Машина универсальная	ПУ-06	0,55	1,3	3+0	0,86	0,73
Машина для формовки котлет	МОК-2240	0,4	1,4	3+0	0,68	0,65
Машина картофелеочистительная	МРО-400	1,1	3	3+0	0,73	0,76
Машина овощерезательная	МРО-400-1000	0,75	2,3	3+0	0,71	0,73
Машина тестомесильная	ТММ-1М	2,2	5	3+0	0,83	0,8
Машина взбивальная	МВ-60	2,2	5,7	3+0	0,73	0,81
Машина для просеивания муки	МПМ-800	1,1	2,7	3+0	0,79	0,78
Машина хлеборезательная	МХР-200	0,5	1,7	3+0	0,7	0,7
Машина для размола кофе	МИК-60	1,5	3,5	3+0	0,81	0,8
Мясорубка	МИМ-500	2,2	5,7	3+0	0,78	0,81
Электротепловое оборудование						
Автоклав электрический	АЭ-1	10,8	16,8	3+0	0,98	—
Аппарат пароварочный электриче- ский	АПЭСМ-2	10	16,6	3+0	0,98	—
Жаровня вращающаяся электриче- ская	ЖВЭ-720	15,58	21,5	3+0	0,9	—
Котел пищеварочный электрический	КПЭ-60	9,45	15,9	3+0	0,98	—
Котел пищеварочный электричес- кий	КПЭ-250-1	30	46,5	3+0	0,98	—
Котел секционный модулированный	КПЭСМ-60М	9,45	15,4	3+0	0,98	—
Кипятильник электрический	КНЭ-100Б	12	18,6	3+0	0,98	—
Кофеварка	Омния-рекорд МСЭСМ-3	5,73 3,75	9 5,8	3+0	0,97 0,98	—
Мармит стационарный электричес- кий для первых блюд	МСЭСМ-60	3,5	8,1	2+0	0,98	—
Мармит стационарный электричес- кий для вторых блюд	15-НМТ-1А	33,4	54,5	3+0	0,92	—
Машина посудомоечная	СРТЭСМ-М	1,5	7	1+0	0,98	—
Стойка раздаточная тепловая						

Наименование оборудования	Тип оборудования	Установлен- ная мощность, кВт	Номинальный ток, А	Число фаз	cos φ	КПД
Плита электрическая секционная модулированная	ПЭСМ-4	12	20,8	3+0	0,98	—
То же	ПЭСМ-4ШБ	17,04	27,8	3+0	0,98	—
Печь ковшей жарочная	ПКЖ	58,8	92	3+0	0,98	—
Сковорода электрическая секционная модулированная	СЭСМ-05	12	20	3+0	0,98	—
Фритюрница электрическая секционная модулированная	ФЭСМ-20	7,5	11,6	3+0	0,98	—
Шкаф жарочный секционный модулированный	ШЖЭСМ-2К	9,6	22,4	3+0	0,98	—
Автомат для приготовления пирожков	АЖ-3П	16,7	29,3	3+0	0,87	—
Автомат для приготовления и жарения пончиков	АП-3М	8,3	13,6	3+0	0,93	—
Котел	КЭ-160	24	37,2	3+0	0,98	—

вом строительстве предприятий торговли и общественного питания.

Энергоемкими потребителями являются коммунальные предприятия, такие, как общественные прачечные и бани, а также фабрики химической чистки одежды.

В прачечных основными потребителями электроэнергии являются стиральные машины, сушильные барабаны и гладильные машины. В банях часто применяются электрифицированные сауны.

В ателье пошива и ремонта обуви и одежды основными потребителями энергии являются швейные машины, гладильные прессы, утюги, а также обувные машины по ремонту и отделке обуви.

Общественные здания, как правило, имеют ряд приточно-вытяжных вентиляционных установок, обеспечивающих нормальные условия работы, а в таких крупных зданиях, как гостиницы, зрелищные предприятия, музеи, универсальные магазины, широко применяются системы воздушного отопления и кондиционирования воздуха. Кроме того, во многих общественных зданиях устанавливаются насосы систем горячего и холодного водоснабжения для хозяйственных и противопожарных нужд.

Большинство механизмов оборудовано асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами без регулирования частоты вращения.

Глава вторая

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ БЫТА В СССР

2.1. МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Уровень электрификации быта и ее развитие зависят от объема производства электроэнергии, наличия или отсутствия ограничений на пользование электрической энергией для бытовых целей, развития производства бытовых электроприборов, материального благосостояния населения, обеспеченности трудящихся жилой площадью, тарифов на электроэнергию, уровня коммунально-бытового обслуживания населения и некоторых других факторов.

Основными количественными показателями, характе-

ризующими уровень электрификации быта, являются расход электроэнергии на душу населения или на семью в киловатт-часах в год, называемый электропотреблением, и максимальная электрическая нагрузка в киловаттах. Первая величина имеет важнейшее значение для составления топливно-энергетических балансов, вторая необходима при проектировании как внутренних, так и внешних электрических сетей. Правильное определение электропотребления и электрических нагрузок и прогнозирование этих величин на расчетный период — весьма трудная задача, поскольку их формирование носит случайный характер.

За последние годы создана теоретическая база для расчетов электропотребления и электрических нагрузок в жилых зданиях и их прогнозирования на основе методов прикладной математики, теории вероятностей и математической статистики. Расчеты по указанным методам базируются на широких исследованиях в различных районах страны и проведении необходимых обобщений.

Отметим некоторые методы расчетов, используемые в практике прогнозирования:

непосредственная экстраполяция. Прогнозирование по этому методу заключается в переносе событий и состояний недавнего прошлого на будущее (как правило, темпов прироста). Ввиду того что метод не учитывает возможных качественных изменений процесса, его можно использовать при краткосрочном прогнозировании, примерно на 3-5 лет;

корреляционные (см. § 2.4);

прямого счета. Потребность в электроэнергии определяется как произведение удельного расхода электроэнергии на соответствующий объем (например, полезная площадь квартиры, площадь застройки, количество выпускаемых изделий и т. д.). Для использования метода прямого счета необходима стабильность процесса и отсутствие резких влияний качественных изменений техники и технологии, применим при краткосрочном прогнозировании;

компаративные (подобие, аналогия, сравнение). В практике прогнозирования используется моделирование процесса, при котором изучаемые явления замещаются другими явлениями, подобными рассматриваемым. К данному методу относятся различные виды математического и имитационного моделирования. В ряде случаев процесс изменения электропотребления может быть охарактеризован функциональной зависимостью, представляющей собой

математическую кривую, описываемую уравнениями: линейными, алгебраического многочлена, экспоненты, логарифмическими, степенными и т. д. Определив на основе экспериментальных данных коэффициенты, входящие в указанные уравнения, можно вычислить электропотребление на расчетный период;

прогнозирование электропотребления по динамическому ряду. По этому методу определяются скорость (темпы роста), ускорение (темпы прироста), скорость ускорения, по которым выявляются тенденции развития электропотребления. Надо помнить, что скорость — первая производная функции, ускорение — вторая производная и т. д.;

экспертных оценок. В основе этого метода лежит опыт, накопленный специалистами в процессе решения практических задач. Оценки специалистов могут быть индивидуальными и коллективными. Для этих целей используются различные опросы, анкеты и т. п., которые обрабатываются специальными способами (например, метод Дельфи). Экспертные оценки применяются в практике перспективного планирования на отдаленный период, однако от них нельзя ожидать высокой точности.

Как показывают исследования, проведенные в течение ряда лет, можно считать с достаточной для практики точностью, что процессы формирования электрических нагрузок подчиняются закону нормального распределения (закон Гаусса). Это позволило при охвате сравнительно небольшого количества объектов исследования получать относительно достоверные обобщенные результаты, используемые при проектировании городских внешних сетей и внутренних сетей зданий.

Важность расчетов электрических нагрузок можно подтвердить следующим простым примером. Так, только в Москве ежегодно сооружается не менее 250 городских трансформаторных подстанций. Ошибка в расчете электрических нагрузок в сторону завышения на 10 % приведет к строительству лишних 20—25 подстанций. Таким образом, завышение электрических нагрузок ведет к омертвлению материальных ресурсов, а их занижение вызовет преждевременную реконструкцию электросетей.

В области прогнозирования электрических нагрузок и электропотребления жилых и общественных зданий в СССР большую работу проводят ученые и специалисты АКХ, Московского научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования

(МНИИТЭП), Московского энергетического института, Ленинградского политехнического и инженерно-экономического институтов Энергосетьпроекта и ряда других организаций.

Представляется целесообразным рассмотреть три уровня электрификации быта: для газифицированных квартир — освещение, бытовые электроприборы; для квартир с кухонными электроплитами — освещение, бытовые электроприборы, электропищеприготовление; для квартир с полной электрификацией — освещение, бытовые электроприборы; стационарные кухонные электроплиты, приготовление горячей воды с помощью ЭВН и электроотопление.

Для всех уровней электрификации в ряде районов страны (см. ниже) необходимо учитывать нагрузки от бытовых кондиционеров.

2.2. НАСЫЩЕНИЕ КВАРТИР БЫТОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ

Мощное развитие энергетики в СССР и массовый выпуск отечественной промышленностью бытовых электроприборов обеспечили широкую электрификацию жилых квартир, а также высокую степень механизации, электрификации и автоматизации во всех видах общественных зданий. Рост количества бытовых электроприборов у населения может быть охарактеризован данными, приведенными в табл. 2.1.

Приведенные средние данные (по стране в целом) в крупных городах уже сейчас значительно превышены. Наряду с широко используемыми бытовыми электроприборами в ближайшие годы следует ожидать распространения новых приборов, в том числе ряда приборов (автоматизированные посудомоечные и стиральные машины и т. д.) увеличенной единичной мощности. Важной тенденцией развития электрификации квартир является внедрение стационарных электроплит, которые будут устанавливаться в квартирах жилых домов высотой 10 этажей и более.

Как показывают социальные исследования, несмотря на широкое развитие сети общественного обслуживания населения, до 90 % хозяйственных работ (приготовление пищи, стирка, уборка и т. д.), по-видимому, будет выполняться непосредственно в квартирах и в будущем. Следовательно, для экономии затрат труда на эти работы важной задачей остается дальнейшее развитие и внедрение бы-

Таблица 2.1. Количество бытовых электроприборов у городского населения

Электроприборы	Количество приборов на 100 семей						
	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.	1990 г.
Радиоприемники и радиолы	48	61	71	75	80	96	105
Телевизоры	10	26	56	89	95	97	106
Холодильники	3,5	11	32	61	90	91	91
Стиральные машины	4	21	52	61	68	70	72
Электроутюги	43	74	80	85	95	96	—
Электроплитки переносные	58	80	90	—	—	—	—
Магнитофоны	0,5	2,6	7,4	—	15	37	48
Электрочайники и кофеварки	0,6	3,4	10	17,7	21	35	—
Электропылесосы	2,8	6,8	12	24	43	45	—
Посудомоечные машины	—	—	—	0,04	0,3	—	—
Универсальные кухонные машины	—	—	—	—	1	1	—
Электросамовары	—	—	—	7	12	15	—
Кофемолки	—	—	—	2,1	2,4	5	—
Электропечи «Чудо»	—	—	—	3	5	5	—
Электромясорубки	—	—	—	0,2	1	2	—
Морозильники	—	—	—	0,06	1	2	—
Электросушилки для белья	—	—	—	0,4	3	3	—
Гладильные машины	—	—	—	0,2	1,5	2	—
Увлажнители воздуха	—	—	—	0,5	2	3	—
Электросушилки для грибов и фруктов	—	—	—	0,1	1	2	—

товых электроприборов. Согласно исследованиям Киевского зонального научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий затраты времени на выполнение домашних работ могут быть снижены по меньшей мере наполовину за счет широкого внедрения бытовой техники. Это позволит сэкономить сотни миллионов человеко-часов для труда и культурного отдыха и других целей.

Характеризуя тенденцию развития электрификации быта, следует подчеркнуть, что пока в городах насыщение бытовыми электроприборами остается выше, чем в сельской местности. Однако в ближайшие годы по мере роста систем электроснабжения темпы роста электрификации быта в сельской местности возрастут.

2.3. УРОВНИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Выше были рассмотрены общие положения и тенденции развития электрификации быта. Сейчас целесообразно рассмотреть конкретные показатели электропотребления и закономерности их формирования. Динамика развития электрификации быта лучше всего может быть охарактеризована электропотреблением на все коммунально-бытовые нужды на одного жителя в год:

	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.	1985 г.
В городах, кВт·ч/житель	300	415	590	812	977	1213
% к 1960 г.	100	138	196	270	326	405
В сельской местности, кВт·ч/житель	31	65	118	246	280	—
% к 1960 г.	100	210	370	795	905	—

Для ориентировочных расчетов электропотребления на коммунально-бытовые нужды при разработке генеральных планов городов и поселков рекомендуется пользоваться данными, приведенными в Пособии по проектированию городских и поселковых электрических сетей (к ВСН 97-83).

Для зданий, не оборудованных электроплитами (газ, твердое топливо) (первый уровень), удельное электропотребление, кВт·ч/год на 1 человека, составляет:

	На первую очередь	На расчетный период
В городах:		
крупнейших	1500	2050
крупных	1370	1870
больших	1250	1700
средних	1130	1530
малых	1000	1360
В поселках	650	950

Второй уровень электропотребления принимается для зданий, оборудованных электроплитами, и составляет:

	На первую очередь	На расчетный период
В городах:		
крупнейших	2000	2500
крупных	1820	2300
больших	1650	2100
средних	1500	1900
малых	1320	1680
В поселках	1050	1350

В состав коммунально-бытовых потребителей входят: жилые дома, общественные здания зрелищного, лечебного, учебного, административного и прочего назначения, коммунальные предприятия, наружное освещение, городской транспорт (без метрополитена), объекты водоснабжения, канализации и теплоснабжения. Приведенные данные не учитывают применения в жилых зданиях электрического кондиционирования, электропроводонагрева и электроотопления.

Годовое число часов использования максимума нагрузки, приведенное к шинам ЦП, составляет для первого уровня электропотребления 5000 на первую очередь и 5200 на расчетный период; для второго уровня соответственно 5100 и 5300; для поселков 3900, 4100 и 4200, 4400.

Приведенные данные по электропотреблению на одного городского и сельского жителя отражают значительный рост удельного электропотребления на коммунально-бытовые нужды и опережающий его рост в сельской местности. Расход электроэнергии на коммунально-бытовые нужды учитывает внутриквартирное потребление, расход на общедомовые нужды, наружное освещение, водопровод и канализацию, торговлю, общественное питание, здравоохранение, административные учреждения, зрелищные предприятия, городской электрифицированный транспорт, учебные заведения и т. д. Собственно внутриквартирное потребление составляет 30—40 % общего потребления энергии на коммунально-бытовые нужды.

В развитых капиталистических странах доля коммунально-бытового электропотребления составляла в 1970—1971 гг. в США — 34, во Франции 27, в Великобритании 39, в Японии 23 % общего потребления электроэнергии. В последующие годы в результате роста цен на топливо и электроэнергию и энергетического кризиса в США и ряде стран Европы произошло снижение коммунально-бытового электропотребления. В СССР удельный вес коммунально-бытового потребления составил в 1979 г. 12 % общего объема производства в городах и около 3,5—4 % в сельской местности.

Внутриквартирное потребление электроэнергии характеризуется следующими данными. В домах с газовыми плитами оно составило в 1960 г. — 450, в 1965 г. — 600, в 1970 г. — 730, в 1975 г. — 950, в 1980 г. — 1000, в 1985 г. — 1050 кВт·ч в год на семью. В домах с электроплитами электропотребление составило в 1965 г. — 1800, в 1970 г. —

1900, в 1975 г. — 2050, в 1980 г. — 2100, 1985 г. — 2150 кВт·ч в год на семью.

Приведенные цифры не учитывают расхода электроэнергии на индивидуальный электроводонагрев и электроотопление, которые в нашей стране применяются крайне мало.

Структура распределения электроэнергии внутри квартиры за последние годы значительно изменилась. Если в 1960 г. на электроосвещение расходовалось 85 %, то в настоящее время в домах с газовыми плитами на электроосвещение расходуется 30—35 %, а в домах с электроплитами — примерно 20 % внутриквартирного потребления. По мере повышения световой отдачи осветительных приборов и внедрения люминесцентного освещения, несмотря на рост освещенности в квартирах, удельный вес электроэнергии, затрачиваемой на освещение, будет понижаться.

Представляет интерес соотношение различных энергоносителей для основных процессов энергопотребления в жилых и общественных зданиях. Эти данные приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Структура потребления энергоносителей

Процессы энергопотребления	Структура по энергосистемам, %				Структура по процессам потребления, %			
	Электроэнергия	Теплота (вырабатываемая централизованно)	Топливо	Всего	Электроэнергия	Теплота	Топливо	Удельный вес процесса
Освещение, звуковые	100	—	—	100	6	—	—	0,1
Высокотемпературные (приготовление пищи)	9	—	91	100	11	—	21	7
Приводящие механизмы	100	—	—	100	70	—	—	3,3
Низкотемпературные (нагрев воды, отопление)	1,5	73	25,5	100	13	100	79	84,8
Общий расход энергии по видам энергоносителей	7	65	28	100	100	100	100	100

2.4. РАЗВИТИЕ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВОГО ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Прогнозирование расходов электроэнергии на бытовые нужды основывается на результатах многолетних исследований фактического электропотребления, а также на оценке влияния на него отдельных электроприемников.

Для расчетов целесообразно воспользоваться методом корреляции, который позволяет на основе достаточно большого объема обследований выявить влияние отдельных электроприемников или их групп на суммарное электропотребление. Остановимся в самых кратких чертах на начальных положениях корреляционного анализа.

Корреляция в математической статистике характеризует связь между явлениями, если одно из них входит в число причин, определяющих другие, или если имеются причины, воздействующие на эти явления.

Корреляционный анализ рассматривает степень зависимости случайных событий и величин. Если две величины x и y связаны функциональной зависимостью, то каждому значению x соответствует определенное значение y . Например, данному значению угла сдвига фаз φ соответствует определенное значение коэффициента мощности $\cos \varphi$. Если же некоторому значению x соответствует статистический ряд возможных значений y , то такая зависимость называется корреляционной. Например, одно и то же количество квартир может давать различные электрические нагрузки на шины трансформаторной подстанции.

Чтобы математически описать характер корреляционной зависимости (связи) между явлениями, определяющими среднее значение y по x ($\bar{y}_x$) и среднее значение x по y ($\bar{x}_y$). Эти величины определяются из выражений

$$\bar{y}_x = \frac{\sum_y m_{xy} y}{m_x} \text{ и } \bar{x}_y = \frac{\sum_x m_{xy} x}{m_y},$$

где

$$m_y = \sum_x m_{xy} \text{ и } m_x = \sum_y m_{xy};$$

m_y — число значений x при неизменном y ; m_x — число значений y при неизменном x ; $\sum m_x = \sum m_y = n$; n — общее число наблюдений.

При математической обработке результатов наблюдений составляют специальные таблицы и графики, на основе ко-

торых выясняется характер зависимости y от x или x от y . Такая зависимость может быть близкой к прямой или криволинейной. Зависимость $y=f(x)$ называется уравнением регрессии y на x . При прямой зависимости двух величин уравнение регрессии может быть представлено в следующем виде: $y=a+bx$.

Величины a и b называются коэффициентами регрессии. Для их определения пользуются методом наименьших квадратов. Метод наименьших квадратов основан на том, что сумма квадратов отклонений средних значений от расчетных по формуле регрессии должна быть наименьшей, т. е. что бы сумма $\sum_x m_x (y_x - \bar{y})^2 = \sum_x m_x (y_x - a - bx)^2$ имела наименьшее значение. Для этого определяются частные производные приведенного уравнения и приравниваются нулю. В итоге получаем два уравнения с двумя неизвестными, из которых определяются коэффициенты регрессии a и b и составляется так называемое теоретическое уравнение регрессии.

Если бы связь между y и x была функциональной и при этом линейной, то вычисляемые по уравнению значения y совпали бы с фактическими. Но в статистических измерениях функциональная зависимость уже становится корреляционной, поскольку сами параметры меняются. Следовательно, фактические значения y будут отличаться от вычисленных по уравнению. Чем больше вариаций условий, тем больше будут отклонения от вычисленных значений. В связи с этим вводится понятие тесноты корреляционной зависимости.

Теснота корреляционной зависимости определяется величиной

$$r = a \frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \quad (2.1)$$

где σ_x и σ_y — среднеквадратичные отклонения случайных величин x и y от их средних значений $\bar{x}$ и $\bar{y}$ (см. гл. 3).

Величина r называется коэффициентом корреляции, значения которого колеблются от 0 (при отсутствии линейной связи) до 1 при функциональной зависимости. При $r=0,2 \div 0,3$ можно считать, что величины находятся в корреляционной связи.

В несколько преобразованном виде формула для коэффициента корреляции имеет вид

$$r = \frac{\sum_0^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}. \quad (2.2)$$

В практике часто приходится сталкиваться со статистическими связями между несколькими величинами одновременно. В нашем случае это ряд электроприемников со своими характерными режимами работы. Наиболее простой формой связи является линейная, причем уравнение связи, например, между тремя величинами имеет вид

$$z = ax + by + c.$$

Принципиально задача получения уравнения регрессии решается методами, аналогичными приведенным выше. Такие связи носят название множественной линейной корреляции.

Применение метода корреляции и наименьших квадратов представляется целесообразным проиллюстрировать примером.

В результате обработки данных по ряду магазинов за девять лет средние удельные годовые расходы электроэнергии (фактические) составляют:

x (год)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y (кВт)	403	310	235	333	228	216	253	267	223

Предполагая, что уравнение регрессии может быть представлено прямой вида $y=a+bx$, приводим расчетные величины, которые будут необходимы для решения уравнений по методу наименьших квадратов:

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
y	403	310	235	333	228	216	253	267	223	2468
x^2	1	4	9	16	25	36	49	64	81	285
xy	403	620	705	1332	1140	1296	1771	3136	2007	11403

Приведем вывод уравнений для определения коэффициентов регрессии методом наименьших квадратов. Уравнение прямой $y=a+bx$. Сумма квадратов отклонений от расчетных по формуле регрессии должна быть наименьшей, т. е.

$$\sum_x m_x (y_x - \bar{y})^2 = \sum_x m_x (y_x - a - bx)^2.$$

Берем частную производную при неизменном значении a :

$$\frac{\partial f}{\partial a} = -2 \sum (y - a - bx) = 0$$

или $\sum y = na + b \sum x$,

где n — общее число точек (лет).

Берем частную производную при неизменном b :

$$\frac{\partial f}{\partial b} = -2 \sum (y - a - bx) = 0$$

или $\sum xy = a \sum x + b \sum x^2$.

Получены два уравнения, в которых после подстановки данных, получаем

$$2468 = 9a + 45b \quad | :9;$$

$$11400 = 45a + 285b \quad | :45;$$

$$273,3 = a + 5b;$$

$$254 = a + 6,3b.$$

Решая эти уравнения, получаем

$$b = -14,6; \quad a = 346.$$

Уравнение регрессии будет иметь вид

$$\bar{y} = 346 - 14,5x. \quad (2.3)$$

Зададимся другим видом кривой регрессии — гиперболической:

$$\bar{y} = a + \frac{b}{x^3}.$$

В этом случае, заменяя $-1/x^3$ на z и решая аналогичные уравнения, получаем

$$\bar{y} = 251 + 157/x^3. \quad (2.4)$$

Ниже приведены сравнительные данные удельного расхода электроэнергии по (2.3) и (2.4) по сравнению с фактическими:

Год	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\omega_{\text{факт}}$	403	310	235	333	228	216	253	267	223
По (2.3)	331,4	316,8	302,2	287,6	273	258,4	243,8	229,2	214,6
По (2.4)	408	270,6	256,8	253,45	257,5	251	251	251	251

По приведенным значениям определим среднеквадратич-

ные отклонения, позволяющие рассчитать наибольший удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м²:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\omega_{\text{факт}} - \bar{\omega}_{\text{расч}})^2}{n - 1}}.$$

Для прямой

$$\sigma = \sqrt{\frac{(403 - 331,4)^2 + (310 - 316,8)^2 + (235 - 302,2)^2 + (333 - 287,6)^2 + (228 - 273)^2 + (216 - 258,4)^2 + (253 - 243,8)^2 + (267 - 229,2)^2 + (223 - 214,6)^2}{9 - 1}} = \sqrt{\frac{12570,2}{9 - 1}} = 39,6 \text{ кВт·ч/м}^2.$$

Для криволинейной функции

$$\sigma = \sqrt{\frac{(403 - 408)^2 + (310 - 270,6)^2 + (235 - 256,8)^2 + (333 - 253,45)^2 + (228 - 252,5)^2 + (216 - 251)^2 + (253 - 251)^2 + (267 - 251)^2 + (223 - 251)^2}{9 - 1}} = \sqrt{\frac{11354}{9 - 1}} = 37,67 \text{ кВт·ч/м}^2.$$

Теперь имеем возможность, задавшись вероятностью 95 %, получить наибольший удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м², по продовольственным магазинам:

$$\omega_{\text{max}} = \bar{\omega} + t_{\alpha} \sigma,$$

где t_{α} — нормированное отклонение, в нашем примере равно 2.

Допустим, на пятом году эксплуатации при линейном уравнении регрессии

$$\omega_{\text{max}} = 273 + 2 \cdot 39,6 = 352,2 \text{ кВт·ч/м}^2.$$

При криволинейной функции

$$\omega_{\text{max}} = 251 + 2 \cdot 37,67 = 326,3 \text{ кВт·ч/м}^2.$$

Определяем расчетное электропотребление по средне-взвешенной функции:

$$\omega_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum \omega \frac{1}{\sigma^2}}{\sum \frac{1}{\sigma^2}} = \frac{\frac{273}{39,6^2} + \frac{252,5}{37,67^2}}{\frac{1}{39,6^2} + \frac{1}{37,67^2}} = 336,6 \text{ кВт·ч/м}^2.$$

Анализируя средневзвешенные функции за ряд лет, можно определить, какая из кривых наиболее подходит для дальнейшего расчета и прогнозирования.

Уравнения регрессии позволяют прогнозировать средний расход электропотребления на любой год, если не произойдет принципиальных изменений технологии или режима эксплуатации.

Освещение квартир. При прогнозировании расхода электроэнергии на освещение необходимо учитывать прежде всего улучшение качества освещения, экономичность различных источников света и повышение норм жилой площади.

Улучшение качества освещения достигается в первую очередь за счет повышения освещенности.

Нормами устанавливаются значения средней освещенности при совместном действии всех светильников (кроме настольных) в жилых комнатах и кухнях 50 (100) лк, в санузлах — 20 (50) лк. В скобках указана освещенность при люминесцентных лампах. Для подключения светильников местного освещения предусматриваются штепсельные розетки.

Указанные нормы для квартир носят условный характер, поскольку они зависят от пожелания жильцов. Однако они могут быть использованы для оценки расходов электроэнергии на освещение в квартирах.

Экономичность источников света повышается за счет увеличения их световой отдачи, а также внедрения люминесцентного освещения. Повышение нормы жилой площади не вызовет увеличения электропотребления, так как при большей общей площади квартиры, по-видимому, снизятся коэффициент одновременности и число часов использования максимума нагрузки. Надо ожидать также некоторого повышения КПД светильников за счет улучшения их конструкций. В итоге предполагаемый средний расход электроэнергии на освещение повысится незначительно и составит ориентировочно 450—500 кВт·ч в год на квартиру.

Бытовые электроприборы. Планируя насыщение квартир различными бытовыми приборами, можно рассчитать ожидаемое потребление электроэнергии на квартиру на расчетный период. При расчете электропотребления телевизорами и радиоприемниками необходимо учитывать наряду с ростом насыщения квартир снижение их мощности за счет замены электронных ламп полупроводниковыми приборами. В нашей стране в настоящее время наибольшее распростра-

нение имеют компрессионные холодильники и в меньшей мере абсорбционные. В перспективе абсорбционные холодильники будут постепенно вытесняться более экономичными полупроводниковыми. Следует иметь в виду, что расход электроэнергии на холодильники в разных районах нашей страны различен. Так, если расход электроэнергии в центральном районе (II) принять за 1, то для I района (Сибирь, Дальний Восток, Северо-Запад) следует ввести коэффициент 0,8; для III района (Украина, Поволжье, 50 % территории Казахстана, Молдавия, Северный Кавказ) — 1,15; для IV района (Средняя Азия, Закавказье) — 1,3.

Стирка, сушка, глажение белья. Определение расхода электроэнергии на стирку белья в индивидуальных стиральных машинах ведется с учетом массы сухого белья, накопленного за год в семье. Вместе с тем необходимо учитывать рост единичной мощности автоматизированных стиральных машин с подогревом воды.

Прочие бытовые приборы. К ним относятся пылесосы, полотеры, электрические швейные машины, кофеварки, кухонный привод, мясорубки, соковыжималки, санитарно-гигиенические приборы и т. п. Удельный расход электроэнергии этими приборами оценивается ориентировочно с учетом их единичной мощности, общего количества и числа часов использования.

Приготовление пищи на электроплитах. За последние годы накоплен опыт использования электроплит, особенно в Москве и ряде других городов.

Расходы электроэнергии на приготовление пищи составляют в настоящее время 300—350 кВт·ч на человека в год, что соответствует $7,6 \cdot 10^6$ МДж. В перспективе можно ожидать некоторого снижения этого расхода за счет улучшения теплоотдачи и конструкций конфорок, применения специальной посуды, все большего использования полуфабрикатов. Вместе с тем по мере роста благосостояния населения улучшится рацион питания, что несколько повысит число часов использования плиты.

Горячее водоснабжение, электроотопление, кондиционирование воздуха. До настоящего времени электроводонагрев и электроотопление в нашей стране заметного распространения не получили. Постепенно внедряются комнатные кондиционеры в районах с жарким климатом. Ввиду малого распространения расчеты расхода электроэнергии на водонагрев и электроотопление носят ориентировочный характер. Можно принять, что на одну семью на ванну, душ и хо-

зайственные пужды расходуется в среднем в сутки 100—160 л воды температурой 65 °С. При этом потребность в электроэнергии составит 2,7—4,3 тыс. кВт·ч в год. Расход электроэнергии для прямого электроотопления без автоматического регулирования при нормальной теплоизоляции зданий составляет 10—12 тыс. кВт·ч на квартиру. При повышенной теплоизоляции и автоматическом регулировании этот расход может быть снижен до 8 тыс. кВт·ч в год. Приведенные данные соответствуют средней климатической зоне. При кондиционировании воздуха и установке одного бытового кондиционера на квартиру расход электроэнергии в среднем составит 1,5—1,6 тыс. кВт·ч в год.

В табл. 2.3 приведено электропотребление на квартиру в год для современного уровня насыщения электроприборами и на расчетный период (средние значения).

Данные табл. 2.3 целесообразно сравнивать с расчетами, которые основаны на использовании электропотребления по квартире в целом с учетом определенных ранее и предполагаемых темпов прироста электропотребления. Из материалов АКХ и других организаций следует, что темпы прироста электропотребления в год для газифицированных квартир составляют 3—3,5, а квартир с электроплитами 1,5—2 %. Полученные расчетом значения на перспективу близки к приведенным в табл. 2.3.

Как показывает опыт эксплуатации, удельное электропотребление в домах с централизованным теплоснабжением ниже, чем в домах, где оно отсутствует. В заключение отметим установленную зависимость среднего электропотребления от средней установленной мощности приборов в квартире. Для современного уровня электрификации быта зависимость между средним электропотреблением W , кВт·ч, и средней установленной мощностью $P_{уст}$ выражается уравнением

$$w = a + b\bar{P}_{уст}, \quad (2.5)$$

где a можно принимать для газифицированных квартир равным 617, а для квартир с электроплитами 1395; b — для газифицированных квартир 159, а для квартир с электроплитами 280; $\bar{P}_{уст}$ — средняя установленная мощность электроприемников в квартире (мощность электроплиты не учитывается), кВт; определяется как сумма произведений мощности приборов на относительное насыщение электроприборами.

Таблица 2.3. Расход электроэнергии на квартиру (семью) в год (средние данные для многоэтажных домов)

Наименование	Средний расход электроэнергии на прибор или группу электроприемников, кВт·ч		Насыщение, %		Средний расход электроэнергии с учетом насыщения квартир электроприборами, кВт·ч/год	
	в настоящее время	на расчетный период	в настоящее время	на расчетный период	в настоящее время	на расчетный период
Освещение	420	500	100	100	420	500
Радиоприемники и радиолы (транзисторные 78, лампы 22 %)	8	10	80	95	6,4	9,5
Телевизоры (с учетом цветных)	120	150	95	100	111,5	150
Холодильники и морозильники (с учетом увеличения емкостей)	350	420	90	97	315	406
Стиральные машины (с учетом внедрения стиральных машин с подогревом воды)	40	75	68	75	27,2	56
Электроутюги	72	75	95	110	68,5	82,5
Магнитофоны	60	60	15	25	9	15
Электрочайники, кофеварки	150	150	21	25	31,5	37,5
Электропылесосы	40	60	43	60	17,2	36
Прочие и новые приборы (15 %)	—	—	—	—	150	200
Итого для газифицированных домов	—	—	—	—	1156,3	1492,5
Кухонная электроплита	—	—	—	—	1100	1000
Итого в домах с электроплитами	—	—	—	—	2256,3	2492,5

Примечания. 1. Приведенные данные основаны на материалах АКХ, МНИИТЭП, Всесоюзного научно-исследовательского института по изучению спроса населения на товары народного потребления и конъюнктуры торговли. 2. Средний расход электроэнергии на прибор определен с учетом различной мощности приборов одного и того же рода и их удельного веса в данной группе. 3. Полученные данные являются средними и могут быть значительно превышены отдельными семьями (примерно в 2 раза).

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Глава третья

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

3.1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

Электрические нагрузки жилых квартир являются случайными, зависят от уклада жизни различных семей, набора электроприемников, материального достатка семьи и многих других факторов. Нагрузки жилых зданий существенно меняются в течение суток и в зависимости от времени года.

Принято нормировать электрические нагрузки в киловаттах на квартиру (семью), причем по мере увеличения количества квартир, присоединенных к данному элементу сети, удельные нагрузки снижаются. Такой подход хорошо отражает сущность процесса формирования электрических нагрузок и в известной мере соответствует методике расчета нагрузок в промышленности, где коэффициент спроса зависит от числа электроприемников и оправдал себя в проектной практике.

В данной работе для удобства изложения тоже будет применяться термин коэффициент спроса, являющийся отношением наибольшей расчетной нагрузки в данной точке сети к установленной мощности электроприемников. Однако надо помнить, что понятие установленной мощности по отношению к квартире является условным.

Утвержденные расчетные удельные нагрузки на квартиру приняты для периода зимнего максимума, т. е. для периода наибольших нагрузок в жилых зданиях, и определены на расчетный срок примерно 15 лет (для внутренних сетей) и 8—10 лет для внешних сетей и трансформаторных подстанций. В значениях удельных нагрузок учтена и неизбежная случайная асимметрия нагрузок отдельных фаз (см. § 3.4), что особенно важно для жилых домов с электроплитами, где ток в нулевом проводе может достигать 50 %

тока в фазе. Расчетные нагрузки для лифтовых установок определяются на основе коэффициентов спроса, зависящих от числа присоединенных лифтов и этажности зданий, установленных на основании специальных исследований.

Электрические нагрузки от различных встроенных и пристроенных к жилым домам торговых, коммунально-бытовых и тому подобных предприятий определяются с учетом коэффициентов участия этих потребителей в максимуме нагрузки электрической сети города (см. гл. 4).

3.2. ИССЛЕДОВАНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Выше уже упоминалось, что включение электроприемников в квартире носит случайный характер и зависит от ряда факторов. Все это в совокупности должно учитываться при определении расчетной нагрузки, имеющей важнейшее значение для выбора параметров электрической сети. За расчетную нагрузку принимается *получасовой максимум*, который является наибольшим из средних получасовых нагрузок рассматриваемого элемента сети (ввод в квартиру, стояк, питающая линия, шины подстанции и т. д.).

Для групповых сетей квартир более обоснованным было бы применение, например, 15-минутного максимума (при небольших сечениях проводов постоянная времени нагрева мала), но, имея в виду малую вероятность появления 15-минутного максимума и некоторую условность принимаемых темпов естественного роста нагрузок, в расчетах сетей принимают единый нормируемый получасовой максимум. Это позволяет выбирать сечения проводов и кабелей по таблицам, приведенным в ПУЭ, без каких-либо пересчетов. Ниже рассматриваются в схематическом виде вопросы формирования электрических нагрузок и методы обработки результатов натурных измерений.

Средняя вероятность¹ включения электроприемников в данный момент времени за период может быть выражена формулой

$$\bar{p} = \bar{S}/S_{уст} = W/(P_{уст} T), \quad (3.1)$$

где $\bar{S}$ — средняя за период T потребляемая полная мощ-

¹ Вероятностью называется мера объективной возможности данного события. Событием в теории вероятностей называется всякое явление, которое произошло, но могло и не произойти.

ность, кВт·А; $S_{уст}$ — установленная мощность электроприемников, кВт·А; $P_{уст}$ — установленная активная мощность, кВт; W — электроэнергия, потребляемая из сети за период T , кВт·ч.

При включении группы электроприемников независимо друг от друга средние вероятности включения суммируются и определяются из выражения

$$\bar{p} = \Sigma \bar{S}_i / \Sigma S_{уст} = \Sigma S_{уст} \bar{p}_i / \Sigma S_{уст} = W_{\Sigma} / T \Sigma P_{уст}. \quad (3.2)$$

Если, однако, режимы работы электроприемников зависят друг от друга, то средняя вероятность включения группы будет меньше средней вероятности включения группы независимых электроприемников и средняя нагрузка этой группы будет меньше суммы средних нагрузок отдельных электроприемников. В таких случаях определяется средневзвешенная вероятность (по мощности):

$$\begin{aligned} \bar{p}_r &= S_{\Sigma} / \Sigma S_{уст} = \Sigma S_i K_{ci} / \Sigma S_{уст} = \Sigma S_{уст} \bar{p}_i K_{ci} / \Sigma S_{уст} = \\ &= \bar{S}_{max} / S_{уст} \approx \bar{P}_{max} / P_{уст}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

где $\bar{S}_{max}$ и $\bar{P}_{max}$ — средние максимумы нагрузки группы электроприемников; K_{ci} — коэффициент спроса i -го электроприемника.

При измерениях общих нагрузок в данной точке сети взаимная зависимость режимов работы электроприемников учитывается автоматически.

Пример 3.1. Определить среднюю вероятность включения группы электроприемников в квартире и средний максимум их нагрузки при независимом и зависимом режимах их работы при следующих исходных данных:

Электроприборы	$P_{уст}$ Вт	K_{ci}	$\bar{p}_r$
Освещение	450	0,7	0,6
Радиоприемник	75	0	0,5
Телевизор	160	1	0,6
Холодильник	140	1	0,2
Стиральная машина	350	0	0,1
Утюг	1000	0	0,2
Пылесос	400	0	0,1
Прочие приборы	700	0,3	0,15
Итого	3275		

Решение 1. Определяем среднюю вероятность и средний максимум нагрузки, предполагая, что электроприемники работают независимо друг от друга.

Воспользуемся выражением (3.2)

$$\begin{aligned} \bar{p}_r &= \frac{450 \cdot 0,6 + 75 \cdot 0,5 + 160 \cdot 0,6 + 140 \cdot 0,2 + 350 \cdot 0,1 +}{3275} \\ &\rightarrow \frac{+ 1000 \cdot 0,2 + 400 \cdot 0,1 + 700 \cdot 0,15}{3275} = 812/3275 = 0,25. \end{aligned}$$

Таким образом, средний максимум нагрузки составляет 812 Вт, а средняя вероятность включения группы приборов 0,25.

2. Выполним аналогичный расчет в условиях, когда при телевизионной передаче не включается ряд приборов ($K_{ci}=0$). Согласно выражению (3.3)

$$\bar{p}_r = \frac{450 \cdot 0,6 \cdot 0,7 + 160 \cdot 0,6 + 140 \cdot 0,2 + 700 \cdot 0,15 \cdot 0,3}{3275} = 344/3275 = 0,11.$$

Следовательно, в этом случае средний максимум нагрузки составляет 344 Вт, а средняя вероятность включения 0,11.

Рядом авторов показано, что формирование электрических нагрузок группы электроприемников с достаточной точностью подчиняется *биномиальному закону распределения*. Вероятность того, что из общего числа электроприемников n одновременно включено m , определяется из выражения

$$\bar{p}_{r(m,n)\Sigma} = \sum_{m=0}^n \frac{n!}{m! (n-m)!} K_c^m (1-K_c)^{n-m}, \quad (3.4)$$

где K_c — средний коэффициент спроса (средняя вероятность включения электроприемников за данный отрезок времени)¹.

Приведенная формула основана на так называемой *схеме независимых испытаний* и предполагает, что электроприемники включаются независимо друг от друга.

Пример 3.2. Определить, сколько электроприемников из десяти будет включено одновременно при средней вероятности включения $K_c = 0,3$.

Решение. Вычислив значения $\bar{p}_{r(m,n)}$ по формуле (3.4) при различных m , получаем

m	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{p}_{r(m,n)}$. .	0,03	0,12	0,24	0,24	0,3	0,07	—	—	—	—	—
$\bar{p}_{r(m,n)\Sigma}$. .	0,03	0,15	0,39	0,63	0,93	1	1	1	1	1	1

Примечание. $\bar{p}_{r(m,n)\Sigma}$ — накопленные частоты распределения.

¹ Данный коэффициент является аналогом коэффициента использования, применяемого при определении нагрузок в промышленности.

Из приведенных данных следует, что одновременная работа более четырех электроприемников возможна с вероятностью $1 - 0,93 = 0,07$, т. е. не более $0,07 \cdot 24 = 1,7$ ч в сутки. Работа же более пяти электроприемников вообще невозможна.

При общем числе электроприемников $n \geq 25/\bar{K}_c$ можно вести расчеты $p_{r(m,n)}$ на основе нормального закона распределения (закона Гаусса), к которому стремится биномиальный закон при большом n . Выражение для $p_{r(m,n)}$ может быть написано следующим образом:

$$p_{r(m,n)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi n \bar{K}_c (1 - \bar{K}_c)}} \int_0^m e^{-\frac{(m - n\bar{K}_c)^2}{2n\bar{K}_c(1 - \bar{K}_c)}} dm \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_\alpha} e^{-t_\alpha^2/2} dt, \quad (3.5)$$

где t_α — нормированное отклонение.

Эта формула табулирована (значения вероятностей приводятся в справочниках), что позволяет резко сократить трудоемкость вычислений. Из выражения для нормального закона распределения вытекает достаточно простая формула для числа электроприемников m из общего числа n , которые могут быть включены одновременно:

$$m = n\bar{K}_c + t_\alpha \sqrt{n\bar{K}_c(1 - \bar{K}_c)}. \quad (3.6)$$

Так, например, из 100 электроприемников при среднем коэффициенте спроса $K_c = 0,1$ и нормированном отклонении $t_\alpha = 2^*$ в расчет следует принимать возможность одновременного включения $m = 100 \cdot 0,1 + 2\sqrt{100 \cdot 0,1(1 - 0,1)} = 16$ электроприемников.

Следовательно, с вероятностью 0,95 наибольший коэффициент спроса составляет $K_c = m/n = 16/100 = 0,16$.

Кривая нормального распределения (рис. 3.1, а) имеет симметричную колоколообразную форму, причем на оси абсцисс отложены нагрузки, а на оси ординат — вероятности их появления. Чем больше разброс нагрузок, тем кривая становится более полой. Чем больше средняя вероятность или частота появления средней нагрузки, тем круче кривая.

* Согласно таблице интегралов вероятностей при $t_\alpha = 2$ $p_{r(m,n)} = 0,95$.

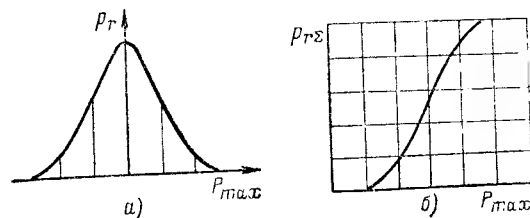


Рис. 3.1. Кривая нормального распределения (а) и интегральная кривая распределения (б)

вая распределения. Иногда вместо колоколообразной кривой распределения строится интегральная кривая распределения (кумулята) (рис. 3.1, б). В этом случае на оси абсцисс откладываются нагрузки, а на оси ординат накопленные частоты распределения.

Практически на основе натурных измерений строятся не плавные, а ступенчатые графики распределения (гистограммы), характеризующие изменение значения в определенном интервале (рис. 3.2). Такой график тоже является дифференциальным. Соединив средние точки абсцисс, получим кривую нормального закона распределения.

Важной величиной для оценки результатов измерений является среднеквадратичное отклонение, иногда называемое стандартным отклонением или стандартом, определяемое из следующих выражений для полной, кВт·А, и активной, кВт, мощности:

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{\sum (S - \bar{S})^2}{n - 1}}; \quad \sigma_P = \sqrt{\frac{\sum (P - \bar{P})^2}{n - 1}}, \quad (3.7)$$

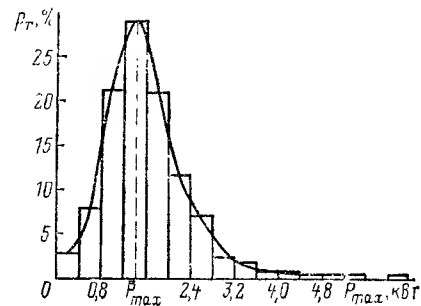


Рис. 3.2. Гистограмма распределения максимумов нагрузки на вводе в квартиру с электроплитой

где n — число измерений; P — измеренная нагрузка, кВт; $\bar{P}$ — средняя нагрузка, кВт; S — полная мощность, кВ·А; $\bar{S}$ — средняя полная мощность, кВ·А.

Из приведенных выражений ясно, что среднеквадратичное отклонение характеризует отклонение отдельных значений нагрузки от среднего его значения.

При натурных измерениях приходится иметь дело с ограниченным количеством измерений рассматриваемых величин. Для оценки достоверности получаемых результатов определяют ошибки среднего $O_{\bar{P}}$ и среднеквадратичного отклонения $O_{\sigma P}$, кВт:

$$O_{\bar{P}} = t_{\alpha} \sigma_P / \sqrt{n}; \quad (3.8)$$

$$O_{\sigma P} = t_{\alpha} \sigma_P \sqrt{2n}. \quad (3.9)$$

Следовательно, действительные средние значения будут находиться в пределах, кВт:

$$P_d = \bar{P}_{max} \pm O_P,$$

а действительные значения стандарта, кВт:

$$\sigma_d = \sigma_P \pm O_{\sigma}.$$

Для определения максимальной нагрузки, кВт, с заданной вероятностью, т. е. при заданном нормированном отклонении, пользуются выражением

$$P_{max} = \bar{P}_{max} + t_{\alpha} \sigma_P. \quad (3.10)$$

Следует подчеркнуть прямую связь между нормированным t_{α} и среднеквадратичным отклонением:

$$t_{\alpha} = \frac{P_{max} - \bar{P}_{max}}{\sigma_P}. \quad (3.11)$$

Нормированное отклонение показывает, на сколько среднеквадратичных отклонений изменяется максимум нагрузки по сравнению со своим средним значением. Для внутренних сетей жилых домов с малыми сечениями проводов и относительно малой постоянной времени принимают $t_{\alpha} = 3$ (вероятность 99,7 %), а для наружных сетей $t_{\alpha} = 1,65 \div 2$ (вероятность примерно 95 %).

Из формулы (3.6) после простейших преобразований

получаем следующие выражения для коэффициента спроса и максимальной (наибольшей) нагрузки, кВт:

$$K_c = \bar{K}_c + t_{\alpha} \sqrt{\frac{\bar{K}_c (1 - \bar{K}_c)}{n}};$$

$$P_{max} = \bar{P}_{max} + t_{\alpha} \sigma_P = P_{уст} \left(\bar{K}_c + t_{\alpha} \sqrt{\frac{\bar{K}_c (1 - \bar{K}_c)}{n}} \right). \quad (3.12)$$

Максимум нагрузки и коэффициент спроса в значительной мере зависят от числа электроприемников: чем больше n , тем ближе расчетный максимум P_{max} к своему среднему значению $\bar{P}_{max}$. Величины $\bar{P}_{max}$ и P_{max} могут быть определены для любой точки электрической сети, питающей квартиры.

Изложенная методика применяется и для оценки установленных мощностей в квартире полной $S_{уст, кв}$ и активной $P_{уст, кв}$, которые тоже являются случайными величинами.

Как показали исследования АКХ, установленная мощность в квартирах колеблется от 0,1 до 4,11 кВт в домах с газовыми плитами и от 0,18 до 5,42 кВт в домах с электроплитами (без учета установленной мощности электроплиты). Установленная мощность бытовых электроприборов колеблется соответственно от 0,1 до 3,38 и от 0,1 до 4,6 кВт соответственно. Установленная мощность освещения в квартирах изменяется от 0,04 до 1,4 кВт.

Центральным научно-исследовательским и проектным институтом типового и экспериментального проектирования жилища установлен оптимальный набор электроприводов на перспективу, исходя из которого условно установленная мощность электроприемников в квартире достигнет при газовой плите 10—14, а при электроплите 17—22 кВт.

На основе проведенного корреляционного анализа выведены следующие зависимости, позволяющие с достаточной для практических целей точностью определить наибольшую нагрузку, кВт, в зависимости от числа присоединенных квартир (для современного уровня нагрузки при $n > 30$).

Для жилых зданий с газовыми плитами при многоэтажной застройке

$$P_{max} = 0,183 + 2,53/\sqrt{n}; \quad (3.13)$$

для жилых зданий с электроплитами при многоэтажной застройке

$$P_{max} = 0,401 + 5,08/\sqrt{n}. \quad (3.14)$$

3.3. НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

Выше отмечалась важность правильного определения расчетных нагрузок как решающего фактора для выбора мощности и числа трансформаторных подстанций, сечений проводов и кабелей, аппаратуры, электрооборудования и, следовательно, для выявления размеров капитальных вложений в сеть. Исходными данными, естественно, служат фактические показатели, определенные на основе измерений в большом числе квартир и обработанные по методике, изложенной выше. Однако эти нагрузки растут главным образом за счет увеличения числа и мощности электроприборов, приобретаемых населением. Это вызывает необходимость иметь в сети некоторые запасы с тем, чтобы сеть была в состоянии пропустить увеличивающуюся нагрузку к концу расчетного периода.

Для расчетов электрических сетей жилых зданий необходимо знать не только фактические нагрузки, но и перспективные с учетом роста насыщения квартир бытовыми приборами, появления в производстве и продаже новых приборов, увеличения достатка семей и т. п.

Рассмотрим наиболее распространенные пути определения удельных нагрузок, основанные на вероятностной оценке. Первый из них заключается в следующем. Известно, что набор электроприборов у различных семей неодинаков. Это позволяет при большом количестве измерений в течение относительно длительного времени получить корреляционные зависимости максимальных нагрузок от числа и мощности приборов различного назначения.

Средние максимумы, кВт, находятся из выражений

$$P_{max} = \bar{K}_{c1} P_1 + \bar{K}_{c2} P_2 + \dots + \bar{K}_{cn} P_n, \quad (3.15)$$

где $P_1, P_2, \dots, P_n$ — мощности приборов, присоединенных к данной фазе, кВт; $\bar{K}_{c1}, \bar{K}_{c2}, \dots, \bar{K}_{cn}$ — коэффициенты корреляции (средние коэффициенты спроса или средние вероятности включения этих приборов во время максимума).

Можно принимать значения $\bar{K}_c$: 0,6 для освещения; 0,7 для радиоприемников; 0,6 для телевизоров; 0,2 (с учетом ПВ) для холодильников; 0,1 для стиральных машин; 0,1 для пылесосов; 0,2 для утюгов; 0,15 для прочих приборов.

Задаваясь намечаемым уровнем насыщения квартир электроприборами, можно определить средние максимумы нагрузки на квартиру. Установлено, что средние значения

коэффициента спроса (с учетом насыщения квартир электроприборами) составят для домов с газовыми плитами на квартиру примерно 0,15, а для домов с электроплитами — примерно 0,12. Следует, однако, помнить, что средние значения нагрузок могут быть превышены в отдельных квартирах. Для оценки наибольшего расчетного максимума необходимо выяснить значение вариации нагрузок.

Вариации нагрузок представляют собой отношение среднеквадратичных отклонений (стандарта) к среднему максимуму нагрузки $\gamma = \sigma_P / P_{max}$. Теоретически при большом числе квартир ($n \rightarrow \infty$) $P_{max} = \bar{P}_{max}$. Однако в условиях города возможно влияние одновременно действующих факторов (встречи нового года, телетрансляции и т. д.). В результате даже при $n \rightarrow \infty$ нагрузки несколько варьируют и σ_P не равно нулю.

Исследованиями установлено, что для жилищно-коммунальных потребителей при весьма большом их количестве $\gamma \approx 0,1$. В этом случае вариацию можно представить в виде дробления

$$\gamma = 0,1 + \sigma_P / \bar{P}_{max} = 0,1 + \sqrt{\frac{1 - \bar{K}_c}{n \bar{K}_c}}. \quad (3.16)$$

Учитывая, что $\bar{K}_c$ для отдельных электроприемников и квартиры в целом изменяется сравнительно мало, можно определить вариацию и в конечном итоге среднеквадратичное отклонение и максимальную нагрузку (при заданном t_a) для любого числа присоединенных квартир.

Так, например, при числе квартир, равном 100, $\bar{K}_c = 0,12$ (дом с электроплитами), средней удельной мощности $\bar{P}_{max уд} = 1$ кВт/квартиру и числе электроприемников в квартире 15

$$\gamma = 0,1 + \sqrt{\frac{1 - 0,12}{100 \cdot 0,12}} = 0,173.$$

Среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_P = P_{max уд} (\gamma - 0,1) = 1 (0,173 - 0,1) \approx 0,073 \text{ кВт}.$$

Удельная расчетная нагрузка

$$P_{max уд} = \bar{P}_{max уд} + 2\sigma_P = 1 + 2 \cdot 0,073 = 1,146 \text{ кВт/квартира}.$$

Второй, более простой и поэтому широко распространенный путь определения и прогнозирования удельных нагрузок

зок (расчетных максимумов) заключается в том, что на основе измерений в различных точках сети (на вводе в квартиру, питающих линиях, вводе в дом, шинах ТП и т. п.) определяются $\bar{P}_{max}$, σ_P и P_{max} . Накопленные в течение ряда лет экспериментальные данные могут служить (с поправками на основе оценки развития производства приборов и т. д.) основанием для выявления темпов роста нагрузок.

Ожидаемый в конце расчетного периода максимум нагрузки определяется из уравнения

$$P_t = P_0 A^t, \quad (3.17)$$

где P_0 и P_t — расчетные нагрузки в начальный и t -й год эксплуатации; A — коэффициент естественного роста нагрузок.

Число квартир До 100 100 и более
Коэффициент естественного роста нагрузки:

для газифицированных домов	1,03—1,035	1,01—1,015
для домов с электроплитами	1,015—1,02	1,01—1,015

Определение расчетных электрических нагрузок этими и некоторыми другими методами, как правило, не дает полностью совпадающих результатов, что объясняется все еще недостаточной изученностью режимов работы отдельных электроприемников в квартирах и отсутствием точных значений средних вероятностей их включения.

3.4. ОЦЕНКА АСИММЕТРИИ НАГРУЗОК

Асимметрия токов и напряжений в электрических сетях до 1000 В обусловлена неравномерной нагрузкой фаз электрической сети (систематическая асимметрия) и вероятностным характером работы бытовых однофазных электроприемников и электроосвещения (случайная асимметрия). Несимметрия напряжения и токов приводит к дополнительным потерям мощности и электроэнергии в сети, сокращению сроков службы электрооборудования, проводников и трансформаторов и даже к перегрузке отдельных фаз.

Для оценки уровня асимметрии напряжения введено понятие коэффициента несимметрии напряжения ϵ_U :

$$\epsilon_U = U_2/U_{л,ном}, \quad (3.18)$$

где U_2 — напряжение обратной последовательности, В; $U_{л,ном}$ — номинальное линейное напряжение, В.

Коэффициент несимметрии напряжения не должен превышать 2 %.

Некоторыми авторами рекомендуется также учитывать коэффициент неуравновешенности ϵ_0 , равный

$$\epsilon_0 = U_0/U_{ф,ном}, \quad (3.19)$$

где U_0 — напряжение нулевой последовательности, В; $U_{ф,ном}$ — номинальное фазное напряжение, В.

Коэффициент неуравновешенности также не должен превышать 2 %.

Для определения вышеуказанных коэффициентов в действующих сетях необходимо измерить (в течение нескольких дней в зимнее и летнее время в часы максимума и минимума нагрузки по специальной методике) фазные и линейные напряжения.

На основании полученных данных определяются напряжения обратной и нулевой последовательностей:

$$X = (U_{AB} - U_{AC} + U_{BC})/2U_{AB}; \quad Y = \sqrt{U_{BC}^2 - X^2};$$

$$U'_2 = -U_{AB}/2 + Y/\sqrt{3}; \quad U''_2 = (-U_{AB} + 2X)/2\sqrt{3}.$$

Напряжение обратной последовательности

$$U_2 = \sqrt{(U'_2)^2 + (U''_2)^2}. \quad (3.20)$$

Соответственно определяются

$$X_0 = (U_{AB}^2 - U_A^2 + U_B^2)/2U_{AB}; \quad Y_0 = \sqrt{U_B^2 - X_0^2};$$

$$U'_0 = (U_{AB} + X)/3 - X_0; \quad U''_0 = Y/3 - Y_0.$$

Напряжение нулевой последовательности

$$U_0 = \sqrt{(U'_0)^2 + (U''_0)^2}. \quad (3.21)$$

Здесь X , Y , X_0 , Y_0 — вспомогательные величины; U'_2 , U''_2 , U'_0 , U''_0 — действительные (с одним штрихом) и мнимые (с двумя штрихами) значения напряжений обратной и нулевой последовательностей, В.

Зная U_2 и U_0 , по формулам (3.18) и (3.19) определяют коэффициенты несимметрии напряжения и неуравновешенности.

Коэффициент несимметрии нагрузок по току, %, определяется из выражения

$$\epsilon_I = \frac{I_{\max} - I_{\text{ср}}}{I_{\text{ср}}} 100, \quad (3.22)$$

где $I_{\max}$ — значение тока в максимально загруженной фазе, А; $I_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение тока всех трех фаз, А, $I_{\text{ср}} = (I_A + I_B + I_C)/3$.

Исследованиями установлено, что при коэффициенте несимметрии напряжения 4 % срок службы трехфазных асинхронных электродвигателей сокращается в 2 раза по сравнению со сроком службы в режиме симметричного питания, а при коэффициенте несимметрии по току 10 % и более срок службы изоляции трансформаторов снижается на 16 %.

Обработка графиков нагрузки отдельных фаз и суммарных показала, что во внутренних электрических сетях домов с газовыми плитами коэффициент несимметрии по средним получасовым значениям в часы максимума нагрузки может достигать 20 %, а в домах с электроплитами (на валах) даже 30 % и более. По мере приближения к шинам ТП асимметрия резко снижается.

Из изложенного следует, что неучтенная асимметрия может привести к существенным ошибкам при выборе сечений проводов и кабелей, причем даже при тщательном и точном распределении нагрузок по фазам в сетях городского типа нельзя избежать случайной асимметрии, о которой говорилось выше.

При проектировании асимметрию учитывают путем соответствующего увеличения нормируемых электрических нагрузок, кВт/квартира, т. е. ведут расчет по наиболее нагруженной фазе:

$$P_{\max} = 3P_{\text{малф}}. \quad (3.23)$$

3.5. РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Для расчетов электрических нагрузок жилых и общественных зданий следует пользоваться ведомственными строительными нормами, утвержденными Госкомитетом по архитектуре и градостроительству при Госстрое СССР ВСН 59-88.

Для определения электрических нагрузок, кВт, всех элементов сети (питающие линии, вводы в здания, шины низшего напряжения трансформаторных подстанций), кварти-

ры, одного или группы жилых домов можно пользоваться формулой

$$P_{\text{кв}} = (P_{\text{кв,уд}} + P_{\text{к,уд}}) n_{\text{кв}}, \quad (3.24)$$

где $P_{\text{кв,уд}}$ — удельная расчетная нагрузка потребителей электроэнергии квартир посемейного заселения (табл. 3.1) в зависимости от характеристики и количества квартир, присоединенных к линии (трансформаторной подстанции), кВт; $n_{\text{кв}}$ — количество квартир, присоединенных к линии (трансформаторной подстанции); $P_{\text{к,уд}}$ — удельная расчетная нагрузка бытовых кондиционеров воздуха, определенная для тех же параметров, что и $P_{\text{кв,уд}}$.

Расчетные нагрузки питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП от общего освещения общежитий коридорного типа определяются с учетом коэффициента спроса 0,6—0,8.

Расчетная нагрузка, кВт, питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП в зависимости от количества присоединенных штепсельных розеток общежитий коридорного типа определяется по формуле

$$P_{\text{р,ш}} = P_{\text{ш,уд}} n_{\text{ш}} K_{\text{о,ш}}, \quad (3.25)$$

где $P_{\text{ш,уд}}$ — удельная мощность одной штепсельной розетки, принимаемая 0,1 кВт при количестве розеток до 100, 0,06 кВт — при более 100; $n_{\text{ш}}$ — количество штепсельных розеток, присоединенных к питающей линии (вводу, ТП); $K_{\text{о,ш}}$ — коэффициент одновременности для сети штепсельных розеток, определенный в зависимости от количества присоединенных штепсельных розеток:

Количество розеток	До 10	11—30	31—60	61—100	101—200	201—400	401—600	601—1000
Коэффициент одновременности	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35

Расчетная нагрузка, кВт, групповых, питающих линий, вводов и на шинах ТП от бытовых стационарных электрических плит общежитий коридорного типа определяется по формуле

$$P_{\text{р,пл}} = P_{\text{пл}} n_{\text{пл}} K_{\text{с,пл}}, \quad (3.26)$$

где $P_{\text{пл}}$ — установленная мощность электроплиты, кВт; $n_{\text{пл}}$ — количество электроплит; $K_{\text{с,пл}}$ — коэффициент спро-

Т а б л и ц а 3.1. Удельные расчетные нагрузки на одну квартиру

Потребители электроэнергетики	Удельные расчетные нагрузки				
	1-3	6	9	12	15
Квартиры с плитами на природном газе	4,5	2,3	1,75	1,45	1,3
Квартиры с плитами на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и твердом топливе	5	2,6	2	1,65	1,48
Квартиры с электрическими плитами мощностью до 5,8 кВт	6	3,2	2,7	2,4	1,95
Квартиры с электрическими плитами мощностью от 5,9 до 8 кВт	7	4	3	2,5	2,15
Дома на участках садоводческих товариществ	3	1,5	1,1	0,9	0,75
Бытовые кондиционеры воздуха	1,1	1	0,95	0,9	0,83

Примечания. 1. Определение расчетной нагрузки для количества квартир, не нагруженные квартирами учитывают нагрузку освещения общестововых помещений 55 Вт. 2. При общей площади квартир, превышающей указанную, удельную нагрузку в домах с плитками на природном газе и на 0,5 % в домах с электрическим отоплением увеличение удельной нагрузки не должно превышать 2 % значений, приведенных в таблице 4. 3. Для жилых домов с лоскоматным расселением, приведенным в таблице, следует вводить коэффициент 2. 4. Удельная расчетная нагрузка в востроенных помещениях общестововых назначения. 5. Удельная нагрузка в помещениях 7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума ческими плитками, 0,5 — для жилых домов с плитками на газоборозном и твердого района страны. 8. Возможность применения населением бытовых кондиционеров для строительства на юге страны в районах, указанных в главе СНиП по отоплению и кондиционированию воздуха, в квартирах, в которых используются только одного бытового кондиционера воздуха, в квартирах 400 дополнительную нагрузку от бытовых кондиционеров в учитывать не следует.

са, определяемый в зависимости от количества присоединенных плит:

Количество плит, присоеди- ненных к линии, вводу, ТП . . .	1	3	6	12	40	100	200 и более
Коэффициент спроса $K_{с.пл}$. . .	1	0,9	0,7	0,45	0,3	0,2	0,15

Примечания: 1. Определение расчетной нагрузки для не указанных количества плит производится путем интерполяции. 2. При подключении электр. плиты к трем фазам сети коэффициент спроса для расчета линии, питающей сеть, следует принимать равным 1,2 с учетом неравномерности распределения нагрузки по фазам.

Расчетная нагрузка групповых питающих линий, вводимых на щиты ТП в случае подключения к ним общего освещения, тепсельных розеток и стационарных электрических

жилого дома

кВт/квартира, при количестве квартир									
	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1,15	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,43	0,4	
1,35	1,15	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	
2	1,8	1,5	1,3	1,15	1	0,9	0,85	0,8	
2	1,8	1,5	1,3	1,15	1	0,9	0,85	0,8	
0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,38	0,35	0,33	0,3	
0,8	0,7	0,58	0,45	0,3	0,25	0,2	0	0	

не указанных в таблице, производится путем интерполяции. 2. Удельные расчеты. 3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир с общей площадью до следует увеличить на 1 %, на каждый квадратный метр дополнительной площади плитам и плитам на твердом топливе и сжиженном газе. В обоих случаях в таблице. Удельная нагрузка от кондиционеров принимается независимо от в квартире удельную расчетную нагрузку следует умножить на коэффициент 1,5 общежития квартиры типа к удельным расчетным нагрузкам, приведенным учитывают общедомовую силовую нагрузку и осветительную и силовую нагрузку учтено также применение в квартирах электрических водонагревателей и отопле- нагрузок необходимо вводить коэффициенты: 0,7 — для жилых домов с электри- топлива. 8. Удельные расчетные нагрузки действительны для любого климатическо- ниров воздуха в квартирах следует предусматривать в проектах жилых домов ектированию жилых зданий При этом удельные электрические нагрузки учиты- мощностью до 1,3 кВт. В домах с электроплитами при количестве квартир более

плит в общежитиях коридорного типа определяется как сумма расчетных нагрузок, умноженная на 0,75.

Расчетная нагрузка питающих линий лифтовых установок, кВт, определяется по формуле

$$P_{p, n} = K_{c, n} \sum_{i=1}^{n+1} (P_{pi} \sqrt{PB_i} + P_{pi}) \approx K_{c, n} \sum_{i=1}^n P_{pi}, \quad (3.27)$$

где K_{cl} — коэффициент спроса, определенный по табл. 3.2 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий, в которых они установлены; n_l — количество лифтовых установок, подключенных к линии; P_{ni} — установленная мощность электродвигателя i -й лифтовой установки по паспорту, кВт; ПВ — продолжительность включения электродвигателя i -й лифтовой установки, принимаемая по паспорту, отн. ед.; $P_{дi}$ — дополнительная нагрузка от элек-

Таблица 3.2. Коэффициент спроса $K_{с,л}$ лифтовых установок для здания различной этажности

Число лифтовых установок	Коэффициент спроса		Число лифтовых установок	Коэффициент спроса	
	для домов до 12 этажей	для домов свыше 12 этажей		для домов до 12 этажей	для домов свыше 12 этажей
2—3	0,8	0,9	8—10	0,5	0,6
4—5	0,7	0,8	15—20	0,4	0,5
6—7	0,6	0,7	20 и более	0,35	0,4

тромагнитного тормоза, аппаратов управления и освещения i -й лифтовой установки, кВт.

Расчетные нагрузки питающих линий электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств определяются по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса 0,7.

Мощность резервных электродвигателей и электроприемников противопожарных устройств при расчете электрических нагрузок вводов в здание не учитывается, за исключением тех случаев, когда она определяет выбор аппаратов защиты и сечений питающих линий.

Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников), кВт, определяется по формуле

$$P_{р,ж,д} = P_{жил} + 0,9P_c, \quad (3.28)$$

где $P_{жил}$ — расчетная нагрузка потребителей электроэнергии квартир или жилых помещений общежитий, кВт; P_c — расчетная нагрузка силовых потребителей жилых домов или общежитий, кВт.

При расчете элементов сети в аварийном режиме они должны выбираться с учетом допустимых перегрузок, регламентируемых ПУЭ.

Расчетные коэффициенты мощности питающих сетей жилых зданий следует принимать по табл. 3.3.

Компенсация реактивной мощности потребителей жилых зданий и предназначенных для них центральных тепловых пунктов и насосных не требуется (см. также гл. 8).

Пример 3.3. Определить наибольшую расчетную нагрузку вводов в жилой 12-этажный дом. Дом имеет 172 квартиры с плитами на природном газе (100 квартир общей площадью до 55 м² и остальные общей площадью 60 м²), восемь лифтовых установок мощностью по 7 кВт (при ПВ=1),

Таблица 3.3. Расчетные коэффициенты мощности

Питающие линии потребителей	Расчетные коэффициенты мощности
Квартиры с электрическими плитами	0,98
То же с кондиционерами	0,93
Квартиры с газовыми плитами на природном и сжиженном газе и твердом топливе	0,96
То же с кондиционерами	0,92
Общее электроосвещение в общежитиях	0,95
Насосы водоснабжения, вентиляционные установки и другие санитарно-технические устройства	0,85
Лифтовые установки	0,6

Здание имеет два взаимно резервируемых кабельных ввода; к первому подключены квартиры, ко второму — лифты.

Решение. 1. Определяем расчетную нагрузку первого ввода с учетом повышающего коэффициента для квартир общей площадью более 55 м². Расчетную удельную нагрузку принимаем по табл. 3.1 (с интерполяцией):

$$P_{кв} = 0,53 \cdot 100 + 0,53 \cdot 1,05 \cdot 72 = 0,53 (100 + 1,05 \cdot 72) = 93 \text{ кВт.}$$

2. Определяем расчетную нагрузку от лифтов (второго ввода). Коэффициент спроса принимаем по табл. 3.2:

$$P_{р,л} = 7 \cdot 8 \cdot 0,5 = 28 \text{ кВт.}$$

Пример 3.4. Определить расчетную нагрузку линии, питающей 64 квартиры с электроплитами мощностью 8 кВт и бытовыми кондиционерами воздуха. Общая площадь каждой квартиры 70 м².

Решение. Определяем расчетную нагрузку питающей линии с учетом повышающего коэффициента для квартир общей площадью более 55 м² (1,075) и удельной нагрузки от кондиционеров. Расчетные удельные нагрузки принимаем по табл. 3.1 (поскольку число квартир мало отличается от приведенного в таблице, интерполяцию производить не требуется):

$$P_{кв} = (1,3 \cdot 1,075 + 0,45) 64 = 118,2 \text{ кВт.}$$

Удельная нагрузка кондиционера от площади квартиры не зависит.

Выбор параметров групповых линий квартир целесообразно производить по расчетному току. Групповые линии квартир, как правило, выполняются однофазными; число таких линий и расчетные токи указаны в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Групповые линии квартир жилых домов

Здания	Назначение групповых линий	Расчетный ток, А
Жилые дома с плитами на газообразном и твердом топливе	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16, 25*
	Питание электрических бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт	25
Жилые дома с электроплитами до 5,8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16, 25*
	Питание электрической плиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт**	25—32
Жилые дома с электроплитами от 5,9 до 8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16, 25
	Питание электрической плиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт**	40
Жилые дома садоводческих товариществ	Питание ламп общего освещения и штепсельных розеток	16

* В знаменателе указаны расчетные токи групповой линии, к которой подключается бытовая кондиционер мощностью до 1,3 кВт.

** Одновременное включение электроплиты и бытовой машины или прибора на полную мощность исключается.

3.6. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКОЙ, ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ И ГОДОВЫМ ЧИСЛОМ ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКСИМУМА НАГРУЗКИ

Помимо рассмотренных методов определения электрических нагрузок известный интерес представляет получение зависимости между электропотреблением и годовым числом часов использования максимума нагрузки T_{max} , которое может в некоторых случаях служить критерием для оценки расчетной нагрузки, кВт,

$$P_{max} = W/T_{max} \quad (3.29)$$

Число часов использования максимума не остается постоянным и связано с удельным годовым электропотреблением. С ростом электропотребления число часов использования максимума нагрузки возрастает вначале быстро, а за-

тем замедленно. При этом T_{max} в различных точках сети неодинаково. На вводе в квартиру эта величина значительно меньше, чем на вводе в дом, и т. д.

Именно поэтому нельзя распространять темпы прироста электропотребления на темпы прироста нагрузок, последние всегда значительно меньше. Ниже даны эмпирические формулы для определения T_{max} в зависимости от числа присоединенных квартир к данному элементу сети:

$$T_{max} = \frac{750 \sqrt{n}}{0,3 \sqrt{n} + 1} \quad (3.30)$$

для домов с газовыми плитами при $n \rightarrow \infty T_{max} = 2500$ ч;

$$T_{max} = \frac{2300 \sqrt{n}}{0,4 \sqrt{n} + 4,3} \quad (3.31)$$

для домов с электроплитами при $n \rightarrow \infty T_{max} = 5750$ ч.

Отметим, что рассмотренные методы, как правило, базируются на статистических данных. Однако при высоких темпах развития производства приборов в перспективе возможно появление приборов, по которым эксплуатационных данных нет.

Пользуясь изложенной методикой, вполне возможно оценить нагрузку от этих приборов. Так, например, представляет интерес оценить нагрузку от новой электроплиты мощностью 8 кВт, освоенной промышленностью.

Пример 3.5. Определить расчетную нагрузку на вводе в квартиру от электроплиты мощностью 8 кВт.

Решение. 1. Оценим среднюю вероятность включения электроплиты. При этом следует учитывать, что количество приготовляемой пищи не зависит от мощности электроэнергии плиты мощностью 8 кВт и постоянна. Тогда расход электроэнергии плиты мощностью 8 кВт не должен существенно отличаться от данных, приведенных в табл. 2.2, поэтому принимаем $W = 1000$ кВт·ч/квартира. Примем также, что по условиям быта включение плиты возможно не более 8 ч в сутки. Тогда

$$\bar{p}_r = W/(P_{уст} T) = \frac{1000}{8 \cdot 360 \cdot 8} = 0,043.$$

2. Принимая, что плита состоит из пяти электроприемников (четыре конфорки и жарочный шкаф), на основании выражения (3.4) для биномиального закона определим, какое число из этих электроприемников может быть включено одновременно. Результаты расчетов сводятся к следующему:

m	0	1	2	3	4	5
$\bar{p}_r(m, n) \Sigma$. . .	0,813	0,98	1	1	1	1

Таким образом, можно предполагать, что одновременно включается не более двух электроприемников. Следовательно, коэффициент спроса электроплиты на вводе в квартиру составит не более

$$K_c = \frac{2}{5} = 0,4$$

и расчетная нагрузка будет равна

$$P_{\max} = P_{\text{уст}} K_c = 8 \cdot 0,4 = 3,2 \text{ кВт.}$$

Пример 3.6. Определить расчетную нагрузку на вводах в жилой 17-этажный дом на 272 квартиры с электрическими плитами. В доме 172 квартиры с общей площадью до 55 м² и 100 квартир с общей площадью 65 м², 6 лифтовых установок мощностью по 7 кВт.

Решение. 1. Определяем расчетную нагрузку квартир, подключенных к первому вводу, по формуле

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв, уд}} n,$$

где $P_{\text{кв, уд}} = 0,96$ кВт/квартиру, принято по табл. 3.1 (с интерполяцией); n — число квартир (272).

С учетом повышающего коэффициента для квартир площадью более 55 м², равного 1,05, получим

$$P_{\text{кв}} = 0,96 (172 + 100 \cdot 1,05) = 268,7 \text{ кВт или } 268,7/0,98 = 274,2 \text{ кВт.}$$

2. Определяем расчетную нагрузку силовых потребителей, подключенных ко второму вводу, по формуле

$$P_{\text{р, л}} = K_{\text{с, л}} \sum_{j=1}^n P_{\text{п, л}},$$

где $K_{\text{с, л}} = 0,7$ (по табл. 3.2);

$$P_{\text{р, л}} = 0,7 \cdot 7 \cdot 6 = 29,4 \text{ кВт или } 29,4/0,6 = 49 \text{ кВт.}$$

3. Определяем расчетную нагрузку жилого дома (послеаварийный режим)

$$P_{\text{р, ж, д}} = 268,7 + 0,9 \cdot 29,4 = 295,2 \text{ кВт.}$$

В процессе проектирования застройки микрорайона (квартала) для ориентировочных расчетов нагрузок удобно пользоваться удельной нагрузкой на 1 м² общей площади квартир, приведенной к шинам 0,4 кВ ТП. В табл. 3.5 приведены удельные расчетные нагрузки и значения коэффициента мощности.

Таблица 3.5. Удельные расчетные нагрузки жилых домов

Этажность застройки	Удельные расчетные нагрузки жилых домов на шинах 0,4 кВ ТП, Вт/м², плитами		
	на природном газе	на сжиженном газе или твердом топливе	электрическими
1—2 этажа	9,5/0,96	11,7/0,95	20/0,98
3—5 этажей	9,3/0,96	11,2/0,96	18,2/0,98
5 этажей и более с долей квартир в домах выше 5 этажей:			
20 %	10,2/0,94	12,2/0,94	19,8/0,97
50 %	10,9/0,93	16,5/0,93	23,4/0,97
100 %	12/0,92	18/0,92	21,5/0,96

Примечания: 1. В знаменателе указаны значения cos φ. 2. В удельных расчетных нагрузках учтены нагрузки насосов систем отопления, горячего водоснабжения и водопровода, установленных в ЦТП или индивидуально в каждом доме, лифтов и наружного освещения территории микрорайона. Не учитываются нагрузки электроотопления, электроводонагрева и бытовых кондиционеров воздуха. 3. Удельные расчетные нагрузки относятся как к первой очереди строительства, так и к расчетному сроку. 4. Для районов Крайнего Севера удельные расчетные нагрузки при соответствующих обоснованиях могут быть увеличены:

$$P_{\text{р, ж, д}} = P_{\text{р, ж, д}} S^{-0,3}, \quad (3.32)$$

где S — общая площадь жилых домов, подключенных к шинам 0,4 кВ ТП, м²; $P_{\text{р, ж, д, уд}}$ — удельная расчетная нагрузка жилых домов на шинах 0,4 кВ ТП, Вт/м², по табл. 3.5; $P_{\text{р, ж, д}}$ — расчетная мощность, кВт.

Глава четвертая

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электрические нагрузки любого общественного здания складываются из нагрузок электрического освещения и силового электрооборудования. Установленная мощность ламп электрического освещения определяется на основании светотехнических расчетов, которые в настоящей книге не рассматриваются. Мощность силовых электроприемников принимается на основании технологических и санитарно-технических разделов проекта. Однако режимы работы этих видов оборудования на стадии разработки проекта элек-

трооборудования выявить точно не представляется возможным.

Между тем правильный выбор коэффициентов, характеризующих загрузку, одновременность работы, несоответствие максимумов нагрузки различных потребителей имеют важнейшее значение для выбора схемы сети, аппаратов защиты, сечений проводов и кабелей.

За последние годы проведены исследовательские работы по изучению электрических нагрузок различных общественных зданий, которые позволили создать научно обоснованную методику, обеспечивающую правильное определение всех параметров электрических сетей.

Эти работы проводились рядом НИИ и проектных институтов. В результате этих работ изданы нормативные документы.

Как показывают расчеты, основанные на проведенных исследовательских работах, внедрение новых методов определения электрических нагрузок обеспечивает значительный экономический эффект. Так, ежегодная экономия трансформаторной мощности только по Москве составляет не менее 25 тыс. кВт·А.

Излагаемая ниже методика расчета электрических нагрузок основных видов общественных зданий базируется на многолетних натурных измерениях и последующей обработке полученных данных методами теории вероятностей и математической статистики. По мере накопления материалов коэффициенты, указанные в приведенных ниже таблицах, могут уточняться.

При расчете электрических сетей необходимо учитывать коэффициент спроса, представляющий собой отношение расчетной потребляемой мощности (нагрузки) P_{max} (получасовой максимум) к установленной мощности $P_{уст}$ работающих электроприемников:

$$K_c = P_{max} / P_{уст} \quad (4.1)$$

В установленную мощность не включается мощность резервных электроприемников, пожарных насосов и т. п., за исключением тех случаев, когда эта мощность определяет сечения проводов и кабелей и выбор аппаратов защиты.

4.2. НАГРУЗКИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Коэффициент спроса для расчета групповых линий рабочего, эвакуационного и аварийного освещения зданий, сети штепсельных розеток, а также освещения витрин и рек-

ламы следует принимать равным единице. Для расчета нагрузок питающих линий и вводов рабочего освещения можно принимать коэффициенты спроса по табл. 4.1. Расчетная нагрузка при этом определяется по формуле (4.1).

Расчетные электрические нагрузки линий, питающих сети штепсельных розеток, определяются по формуле

$$P_{maxш} = P_{уст,ш} n_{ш} K_{с,ш} \quad (4.2)$$

где $P_{уст,ш}$ — установленная мощность электроприемников, подключаемых к одной штепсельной розетке. Может быть принята 0,05 кВт для учреждений управления, проектных и конструкторских организаций и 0,06 кВт — для предприятий общественного питания, жилых помещений гостиниц. Если в номерах гостиниц отсутствует общее освещение (потолочное, закарнизное и т. п.), нагрузки штепсельной сети, предназначенной для питания переносных светильников, следует определять, как для общего освещения; $n_{ш}$ — количество штепсельных розеток; $K_{с,ш}$ — коэффициент спроса, принимаемый по табл. 4.2.

При совместном питании общими линиями (вводами) светильников общего освещения и штепсельных розеток (местного освещения) в аптеках, поликлиниках и больницах суммарная расчетная мощность, кВт, определяется по формуле

$$P_{max\Sigma} = (P_{уст,о} + 0,1P_{уст,ш}) K_{с,о} + P_{уст,э,а} \quad (4.3)$$

где $P_{уст,о}$ — установленная мощность общего освещения, кВт; $P_{уст,ш}$ — общая установленная мощность штепсельных розеток местного освещения (мощность одной розетки может быть принята 0,06 кВт); $K_{с,о}$ — коэффициент спроса для сети рабочего освещения, принимается по табл. 4.1; $P_{уст,э,а}$ — расчетная (установленная) мощность сети эвакуационного и аварийного освещения.

Для всех других общественных зданий суммарная расчетная мощность $P_{max\Sigma}$ освещения определяется по формуле

$$P_{max\Sigma} = P_{уст,о} K_{с,о} + P_{уст,ш} K_{с,ш} + P_{уст,э,а} \quad (4.4)$$

где $P_{уст,о}$ — установленная мощность общего рабочего освещения, кВт.

Таблица 4.1. Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочих

Предприятия и организации	Коэффициенты спроса K_c		
	до 5	5—10	10—15
Гостиницы, учебно-производственные помещения, спальные корпуса и административные помещения пионерских лагерей	1	0,8	0,6
Предприятия общественного питания, детсады, ясли	1	0,9	0,8
Общеобразовательные школы, профтехучилища, средние специальные учебные заведения, организации и учреждения управления	1	0,95	0,9
Предприятия торговли, проектные и конструкторские организации, парикмахерские	1	1	0,9
Предприятия бытового обслуживания	1	0,95	0,9
Аптеки и поликлиники	—	—	—
Больницы	—	—	—

Таблица 4.2. Коэффициент спроса для расчета нагрузок сети штепсельных розеток

Здания и помещения	Коэффициент спроса K_c	
	Питающая сеть	Ввод в здание
Организации управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования, кредитования, государственного страхования	0,2	0,1
Гостиницы, обеденные залы, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	0,4	0,2
Общеобразовательные школы, профтехучилища, средние специальные учебные заведения, детские ясли и сады	0,2	0,1
Аптеки, поликлиники	0,3	0,2
Больницы	0,2	0,1

4.3. НАГРУЗКИ СИЛОВЫХ СЕТЕЙ

Предприятия общественного питания. Коэффициент спроса для расчета электрических нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовой сети предприятий общественного питания принимается по табл. 4.3 в зависимости от эффективного числа электроприемников

освещения питающих линий и вводов общественных зданий

установленной мощности электрического освещения, кВт					
15—25	26—50	51—100	101—200	201—500	500 и более
0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3
0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
0,8	0,77	0,75	0,7	—	—
0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3

и удельного веса установленной мощности теплового неавтоматизированного технологического оборудования в общей установленной мощности всего силового технологического и санитарно-технического оборудования. Как и для сети освещения, расчетная нагрузка линий силовой сети определяется по формуле (4.1).

Эффективное число электроприемников есть эквивалентное число приемников n_3 , однородных по режиму работы, одинаковой мощности, имеющих тот же расчетный максимум нагрузки, что и электроприемников, различных по мощности и разнохарактерных по режиму работы, присоединенных к данному элементу сети.

Эффективное число электроприемников определяется по следующим формулам:

при общем числе электроприемников $n \leq 10$

$$n_3 = \left(\sum_{i=1}^n P_{ном i} \right)^2 / \sum_{i=1}^n P_{ном i}^2; \quad (4.5)$$

при общем числе электроприемников $n > 10$

$$n_3 = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{ном i}}{P_{ном max}}, \quad (4.6)$$

Таблица 4.3. Коэффициенты спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовых электрических сетей предприятий общественного питания

Удельный вес установленной мощности теплового оборудования (без автоматик) в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, %	Коэффициент спроса $K_{с,с}$ при n — числе электроприемников								
	3	5	8	11	15	20	30	40	50
0—10	0,8	0,75	0,65	0,55	0,45	0,4	0,3	0,25	0,2
11—20	0,85	0,8	0,65	0,6	0,5	0,45	0,35	0,3	0,25
31—50	0,9	0,85	0,75	0,65	0,55	0,5	0,4	0,35	0,3
61—90	0,95	0,9	0,8	0,75	0,65	0,6	0,5	0,45	0,35
91—100	0,95	0,95	0,85	0,8	0,75	0,6	0,55	0,5	0,4

Примечания: 1. К тепловому оборудованию следует относить электрические плиты, электрические мармиты, электрические скоровары, электрические жарочные и кондитерские шкафы, электрические котлы и кипятыльники и т. п. (без автоматик). 2. Определение коэффициента спроса для значений установленной мощности теплового оборудования и эффективного числа электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции. 3. Мощность отдельных электроприемников в общую установленную мощность не включается. 4. Расчетную нагрузку линии, к которой подключен один электроприемник, определяют с коэффициентом спроса, равным 1, а для электроплиты 1,2, учитывающим неравномерную нагрузку по фазам.

где n — общее число электроприемников, присоединенных к данному элементу сети; $P_{ном i}$ — номинальная (установленная) мощность i -го электроприемника, кВт; $P_{ном max}$ — номинальная (установленная) мощность наибольшего электроприемника данной группы, кВт.

Пример 4.1. Определить расчетную электрическую нагрузку кафе с установленной мощностью освещения 25,8 кВт и силовых электроприемников 181,07 кВт (33 электроприемника, табл. 4.4).

Решение. 1. Определяем эффективное число электроприемников по формуле (4.6):

$$n_0 = \frac{2 \cdot 181,07}{33,18} = 11.$$

2. Определяем удельный вес установленной мощности теплового оборудования (без автоматик) в общей установленной мощности силового электрооборудования (посудомоечная машина, жарочный шкаф, кофеварка, прилавки горячих напитков и для вторых блюд, электроплиты):

$$\frac{27,100}{181,07} = 15\%.$$

Таблица 4.4. Характеристики электроприемников

Электроприемник	Количество	Мощность одного электроприемника, кВт	Общая установленная мощность, кВт
Посудомоечная машина	1	33,18	33,18
Кипятыльник	1	12	12
Шкаф жарочный	1	9,6	9,6
Котел пищеварочный	2	7	14
Прилавок для вторых блюд	2	6,65	13,3
Кофеварка	1	4,5	4,5
Фреоновый агрегат	1	2,8	2,8
Насос	2	2,2	4,4
Холодильная камера	1	1	1
Универсальный привод	2	0,8	1,6
Холодильный шкаф	3	0,6	1,8
Прилавок горячих напитков	2	0,6	1,2
Прилавок-витрина для холодных закусок	2	0,6	1,2
Хлебозерка	1	0,27	0,27
Электроплита	4	17	68
Кассовый аппарат	2	0,06	0,12
Вентилятор	1	7,5	7,5
»	1	3	3
»	1	0,4	0,4
Пылесос	2	0,6	1,2

3. Расчетный коэффициент спроса для силовых электроприемников принимаем по табл. 4.3: $K_{с,с} = 0,63$.

4. Расчетная нагрузка силового электрооборудования будет равна

$$P_{maxc} = 181,07 \cdot 0,63 = 114,07 \text{ кВт.}$$

5. Принимаем коэффициент спроса для освещения по табл. 4.1: $K_{с,о} = 0,8$.

6. Расчетная нагрузка сети электроосвещения

$$P_{maxo} = 25,8 \cdot 0,8 = 20,6 \text{ кВт.}$$

7. Определяем отношение расчетной осветительной нагрузки к силовой:

$$\frac{20,6 \cdot 100}{114,07} = 18\%.$$

8. Поскольку удельный вес электрического освещения составляет менее 20 %, по табл. 4.9 принимаем коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов силовых и осветительных нагрузок, $K_{н,л} = 1$.

9. Определяем общую расчетную нагрузку при совместном питании силовых и осветительных электроприемников:

$$P_{max} = 114,07 + 20,6 = 134,67 \text{ кВт.}$$

Для расчета электрических нагрузок общественных зданий согласно ВСН 59-88 коэффициенты спроса для определения нагрузок сетей освещения можно принимать по табл. 4.1.

Нагрузки силовых сетей подразделяются на четыре характерные группы: технологическое, холодильное, санитарно-техническое оборудование и посудомоечные машины.

Расчетные нагрузки каждой группы согласно ВСН 59-88 определяются по формуле, кВт,

$$P_p = K_{с.с} P_{уст.} \quad (4.7)$$

В установленную мощность не включаются резервные электроприемники, уборочные машины, электроплатенца и противопожарные устройства, если они не определяют выбор защитных аппаратов и сечения проводников. Значения $K_{с.с}$ принимаются в зависимости от назначения оборудования.

Коэффициенты спроса для технологического оборудования:

Количество электроприемников теплового оборудования, подключенного к данному элементу сети	3	5	8	10	15	20	30	40	50
Коэффициент спроса	0,9	0,8	0,68	0,62	0,52	0,44	0,38	0,33	0,2

Примечания: 1. К технологическому оборудованию относятся: тепловое, механическое, мелкое холодильное, лифты, подъемники и прочее оборудование. 2. Коэффициент спроса для технологического оборудования определяется в зависимости от количества электроприемников теплового оборудования. 3. К тепловому оборудованию относятся: электрические плиты, мармиты, сковороды, жарочные шкафы, электрические чайники, котлы, кипятивники, фритюрницы. 4. К механическому оборудованию относятся: тестомесильные машины, универсальные привода, хлебопечки, вилочные коктейльер-бавалки, мясорубки, картофеледающие машины для приготовления пюре. Коэффициент спроса на линиях, питающих только механическое оборудование, следует принимать равным 0,8. 5. К мелкому, холодильному оборудованию относятся: шкафы холодильные, бытовые холодильники, вязкопластичные аппараты и вытравы единичной мощностью менее 1 кВт. Коэффициент спроса на линиях, питающих только мелкое холодильное оборудование, следует принимать в соответствии с примечанием 2 для холодильного и санитарно-технического оборудования. 6. К прочему оборудованию относятся: классовые шкафы, радиоаппаратура. 7. Определение коэффициентов спроса для количества электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции. 8. При подсчете присоединенных электроприемников менее трех точек, для подсчета коэффициента спроса равный 1, а для электроплиты с учетом максимальной нагрузки по фазам 1,2.

Коэффициент спроса для холодильного и сантехнического оборудования:

Количество электроприемников	3	5	8	10	15	20	30
Коэффициент спроса	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6

Примечания: 1. При определении коэффициентов спроса в количество электроприемников не включаются электроприемники мощностью менее 1 кВт. 2. Коэффициенты спроса, указанные в таблице для холодильного оборудования, следует принимать при определении нагрузки на вводе в предприятия общественного питания. При выборе сечений и аппаратов защиты линий, питающих холодильное оборудование, коэффициент спроса следует принимать 0,8. 3. Определение коэффициентов спроса для количества электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции.

Коэффициент спроса для посудомоечных машин:

Количество электроприемников	1	2	3
Коэффициент спроса	1	0,9	0,85
	0,65	0,6	0,55

Примечание. В числителе приводятся коэффициенты спроса для посудомоечных машин, работающих от сети холодного водоснабжения, в знаменателе — для машин, работающих от сети горячего водоснабжения.

Суммарная расчетная нагрузка от силового оборудования определяется по следующим формулам:

а) вводы в предприятие общественного питания

$$P_{p,c} = P_{p,тех} + 0,75(P_{p,х.м} + P_{p,сан}); \quad (4.8)$$

б) линии, питающие технологическое оборудование и посудомоечные машины,

$$P'_{p,c} = P_{p,п.м} + 0,65P_{p,тех}; \quad (4.9)$$

в) для линий, питающих только холодильное оборудование и сантехническое оборудование, расчетная нагрузка определяется по формуле (4.7), где $P_{p,тех}$, $P_{p,х.м}$, $P_{p,сан}$, $P_{p,п.м}$ — соответственно расчетные нагрузки технологического оборудования, холодильных машин, сантехнического оборудования и посудомоечных машин.

Коэффициент спроса на групповых линиях к электроплатенцам следует принимать равным 0,1. При этом расчетная нагрузка на линии должна быть не менее мощности наибольшего электроприемника.

Расчетная нагрузка вводов и линий, питающих совмест-

по силовые и осветительные электроприемники, определяется по формуле

$$P_p = K_{н.м} (P_{р.о} + P_{р.с}), \quad (4.10)$$

где $P_{р.о}$ — расчетная нагрузка освещения, кВт; $P_{р.с}$ — расчетная нагрузка силового оборудования, кВт; $K_{н.м}$ принимается по табл. 4.9.

Предприятия торговли. Коэффициент спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов в здания силовых электрических сетей продовольственных и промтоварных магазинов в зависимости от числа присоединенных электроприемников и процента установленной мощности холодильного и подъемного оборудования в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, следует принимать по табл. 4.5.

Таблица 4.5. Коэффициент спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовых электрических сетей продовольственных и промтоварных магазинов

Удельный вес установленной мощности холодильного и подъемного (ПВ-1) оборудования в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, %	Коэффициент спроса $K_{с,с}$ при числе присоединенных электроприемников									
	3	4	5	6	15	20	30	40	60	8
0	0,95	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55
10	0,9	0,85	0,7	0,7	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,45
20	0,85	0,8	0,7	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45
30	0,8	0,7	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
40	0,75	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,35
50	0,7	0,65	0,5	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3
60	0,7	0,65	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3	0,3
70	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,25
80	0,65	0,55	0,45	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3	0,3	0,25
81—100	0,6	0,55	0,45	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	0,3	0,25

Примечания: 1. Определение коэффициента спроса для значений процентов установленной мощности холодильного и подъемного оборудования и числа присоединенных электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции. 2. Мощность резервных электроприемников в общую установленную мощность силового электрооборудования не включается. 3. При числе присоединенных электроприемников менее 3 допускается принимать коэффициент спроса, равный 1.

Гостиницы и организации управления. Коэффициенты спроса для определения нагрузок в силовых сетях (питающих линиях и вводах) гостиниц и зданий организаций управления в зависимости от числа электроприемников и процента (удельного веса) установленной мощности санитарно-технического оборудования (вентиляторы, кондиционеры, насосы и т. п.) в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, можно принимать по табл. 4.6.

Таблица 4.6. Коэффициенты спроса для расчета питающих линий и вводов силовых сетей организаций управления (без пищеблоков) и гостиниц (без ресторанов)

Удельный вес установленной мощности санитарно-технического оборудования в общей установленной мощности электрооборудования, %	Коэффициент спроса $K_{с,с}$ при числе электроприемников								
	5	8	10	15	20	30	50	100	200
100—85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
84—75	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
74—50	0,7	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45
49—25	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
24 и менее	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4

Примечание. Электрические нагрузки пищеблоков и ресторанов определяются по табл. 4.3

Школы, учебные заведения, предприятия бытового обслуживания. Коэффициенты спроса $K_{с,с}$ для определения электрических нагрузок силовых сетей, питающих технологическое оборудование указанных выше зданий, принимаются равными:

Предприятия и организации	$n=2 \div 3$	$n>3$
Лабораторное и учебное оборудование общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, техникумов	0,5	0,1
Металлообрабатывающие и другие станки в мастерских	0,5	0,2
Парикмахерские, ателье, комбинаты бытового обслуживания (технологическое оборудование)	0,6	0,4
Прачечные, химчистки (технологическое оборудование)	0,7	0,5
Множительная техника	0,5	0,3

Аптеки, поликлиники, больницы. Коэффициенты спроса для определения нагрузок силовых сетей, питающих меди-

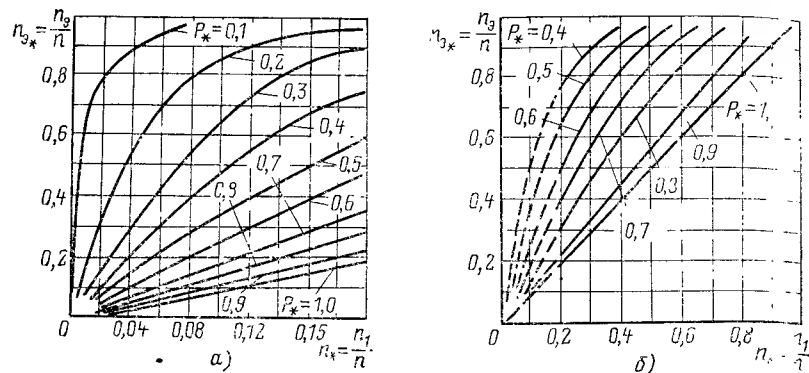


Рис. 4.1. Графики для определения эффективного количества электроприемников при $n_1 < 0.2$ (а) и $n_1 = 0.2 \div 1.0$ (б)

цинское оборудование лечебных учреждений, рекомендуется определять в зависимости от эффективного числа электроприемников. Однако n_3 определяется не по упрощенной формуле (4.6), а другим способом — по графикам, представленным на рис. 4.1, которые дают более точные результаты.

Для этой цели определяется относительное количество электроприемников данной группы n_1 , мощность каждого из которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника:

$$n_1 = n / n_1, \quad (4.11)$$

где n — общее количество электроприемников, присоединенных к данному элементу сети; n_1 — количество электроприемников, мощность которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника.

Затем определяется относительная мощность указанных электроприемников:

$$P_* = P_{n1} / P_{уст}, \quad (4.12)$$

где $P_{уст}$ — установленная мощность всех электроприемников, кВт; P_{n1} — суммарная установленная мощность электроприемников, мощность которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника, кВт.

По графикам на рис. 4.1 определяется относительное эффективное число электроприемников n_{3*} :

$$n_{3*} = n_3 / n. \quad (4.13)$$

Из выражения (4.13) определяется абсолютное значение эффективного числа электроприемников:

$$n_3 = n_{3*} n. \quad (4.14)$$

Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок в силовых сетях лечебных учреждений принимаются по табл. 4.7.

Таблица 4.7. Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок линий силовых сетей $K_{с,с}$, питающих медицинское электрооборудование

Объекты	Коэффициент спроса $K_{с,с}$ при эффективном числе электроприемников							
	3	5	8	10	20	30	50	100 и более
Аптеки	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	—	—
Поликлиники и больницы	0.75	0.6	0.5	0.45	0.4	0.35	0.3	0.25

При определении расчетных электрических нагрузок силовых медицинских электроприемников необходимо учитывать, что в медицинских учреждениях (в кабинетах врачей и палатах) устанавливается большое количество силовых щитов и штепсельных розеток, к которым могут подключаться переносные медицинские аппараты и приборы, однако действительное количество их в данном отделении или на данном этаже значительно меньше, чем число розеток, щитков, предусмотренных проектом по заданиям технологов. В связи с этим в формулу для определения расчетной мощности, кВт,

$$P_{max} = P'_{уст,с} K_{с,с} \quad (4.15)$$

вводится $P'_{уст}$ — условная установленная мощность, кВт, определяемая из эмпирической формулы

$$P'_{уст,с} = 0.1 P_{уст,р,а} + 0.3 (P_{уст,ш,р} + P_{уст,с,щ} + P_{уст,м,п}), \quad (4.16)$$

где $P_{уст,р,а}$ — установленная мощность рентгеновских аппаратов (по паспорту), кВт; $P_{уст,ш,р}$ — установленная мощность силовых штепсельных розеток, кВт; $P_{уст,с,щ}$ — установленная мощность медицинских силовых щитков, кВт; $P_{уст,м,п}$ — установленная мощность прочих медицинских

электроприемников (автоклавов, дистилляторов и другие медицинские аппараты), кВт.

Санитарно-техническое оборудование. К санитарно-техническому оборудованию любых общественных зданий относятся насосы водоснабжения и канализации, вентиляторы, кондиционеры и т. п. Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок в элементах силовых сетей, к которым подключены санитарно-технические электроприемники, приведены ниже:

Количество работающих санитарно-технических установок . . .	1	2	3	5	10	15
$K_{с.с.}$	1	$\frac{1}{0,8}$	$\frac{0,9}{0,75}$	$\frac{0,8}{0,7}$	0,7	0,65

Продолжение

Количество работающих санитарно-технических установок . . .	20	30	50	100	200 и более
$K_{с.с.}$	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5

Примечание. В знаменателе приведены коэффициенты спроса для электродвигателей единичной мощностью более 30 кВт с учетом их средней загрузки на 80 %.

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих полотенцесушители, принимаются равными 0,2, на вводах — 0,1. Установленная мощность уборочных машин принимается 4,5 кВт на этаж при длине коридора до 50 м и 9 кВт — при большей длине. Коэффициент спроса для расчета питающих линий к этим машинам можно принимать равным 0,2, на вводах — 0,1.

Лифтовые установки. Установленные мощности лифтовых установок общественных зданий, приведенные к ПВ-1, определяются по формуле (3.27).

Расчетные нагрузки определяются с учетом коэффициентов спроса, приведенных ниже:

Количество лифтовых установок . . .	1	2—3	4—5	6—7	8—10	11—20	20 и более
$K_{с.с.}$ для зданий высотой до 12 этажей . . .	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
То же для зданий высотой 12 этажей и более	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Киноустановки. Во многих общественных зданиях имеются залы с киноустановками, предназначенными для ре-

Таблица 4.8. Коэффициенты мощности

Здание или оборудование	Коэффициент мощности
Осветительные сети	
Осветительные сети с люминесцентными лампами	0,92
То же с лампами накаливания	1
То же с лампами типа ДРЛ, ДРИ:	
с компенсированным ПРА	0,85
с некомпенсированным ПРА	0,5—0,35
Силовые сети	
Предприятия общественного питания с электрифицированными пищеблоками	0,98
То же с газовыми плитами	0,95
Продовольственные и промтоварные магазины	0,85
Детские ясли и сады с электрифицированным пищеблоком	0,95
То же без пищеблока	0,9
Общеобразовательные школы с электрифицированным пищеблоком	0,95
То же без пищеблоков	0,9
Ателье, комбинаты бытового обслуживания	0,85
Питающие линии к тепловому оборудованию	0,98
То же к холодильному оборудованию	0,65
То же к лифтам и другому подъемному оборудованию	0,6
То же к насосам, вентиляторам и кондиционерам	0,85
То же к металлообрабатывающим и деревообрабатывающим станкам	0,6
Парикмахерские	0,97
Гостиницы (вводы) без ресторанов.	0,85
То же с ресторанами	0,9
Учреждения управления, финансирования, проектные и конструкторские организации	0,85
Медицинское оборудование	0,95
Вводы в лечебные здания	0,9
Вычислительные машины (без технологического кондиционирования)	0,65

Примечания: 1. Применение светильников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается. 2. При совместном питании газоразрядных ламп и ламп накаливания принимается средневзвешенный коэффициент мощности. 3. Допускается для некоторых типов люминесцентных светильников коэффициент мощности в пределах 0,85. 4. Для увеличения срока службы и светоотдачи ламп ДРИ и ДРЛ на ПРА подается 350 В.

монстрации художественных, документальных, научно-технических и учебных фильмов.

В качестве расчетной нагрузки от кинотехнологического оборудования принимается установленная мощность одного наибольшего кинопроекторного аппарата с его выпрямительной установкой и мощностью звукоусилительной аппаратуры. При определении суммарной расчетной мощности линий, питающих конференц-зал, кинозал, и т. п., принимается большая из расчетных нагрузок — освещения зала и эстрады или кинотехнологии; имеется в виду, что одновременное включение этих потребителей исключается. Коэффициент спроса для сети освещения конференц-залов и кинозалов, а также эстрады принимается равным 1.

При подключении к одному силовому вводу потребителей различного технологического назначения (например, типография и ателье по ремонту обуви и т. п.) необходимо учесть несовпадение максимумов отдельных групп силовых электроприемников путем умножения расчетных силовых нагрузок этих групп на коэффициент 0,85.

В зданиях, оборудованных системами кондиционирования воздуха с холодильными машинами (имеющими максимум в летнее время), их расчетную мощность следует умножать на коэффициент 0,4 и прибавлять к расчетным нагрузкам остального силового электрооборудования.

Коэффициент мощности в силовых и осветительных сетях общественных зданий следует принимать по табл. 4.8.

4.4. КОЭФФИЦИЕНТЫ, УЧИТЫВАЮЩИЕ НЕСОВПАДЕНИЕ МАКСИМУМОВ СИЛОВЫХ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК И ОБЩИХ НАГРУЗОК ЗДАНИЙ, ПОДКЛЮЧАЕМЫХ К ОДНОМУ П

Экспериментальные исследования показывают, что практически во всех общественных зданиях максимумы силовых и осветительных нагрузок не совпадают, поэтому при совместном питании этих электроприемников общими питающими линиями или от одного трансформатора расчетная активная нагрузка, кВт, определяется по формуле

$$P_{max} = K_{н,м} (P_{maxc} + P_{maxo} + 0,4P_{maxx}), \quad (4.17)$$

где $K_{н,м}$ — коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов силовых (P_{maxc}) и осветительных (P_{maxo}) нагрузок, принимается по табл. 4.9; P_{maxx} — максимальная нагрузка холодильных машин.

Таблица 4.9. Коэффициенты $K_{н,м}$, учитывающие несовпадение расчетных максимумов силовых и осветительных нагрузок

Здания	Коэффициент $K_{н,м}$ при отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой, %		
	20—75	76—140	141—250
Предприятия торговли и общественного питания гостиницы	0,9/0,85	0,85/0,75	0,9/0,85
Общеобразовательные школы, средние специальные учебные заведения, профтехучилища	0,95	0,9	0,95
Детские сады и ясли	0,85	0,8	0,85
Ателье, комбинаты бытового обслуживания, химчистки с прачечными самообслуживания, парикмахерские	0,85	0,75	0,85
Организации и учреждения управления, финансирования и кредитования, проектные и конструкторские организации	0,95/0,85	0,9/0,75	0,95/0,85

Примечания: 1. При отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой менее 20 и более 250 % коэффициент $K_{н,м}$ следует принимать равным 1. 2. В знаменателе приведен коэффициент $K_{н,м}$ для зданий и помещений с кондиционированием воздуха.

При подключении нескольких зданий (помещений) различного назначения к одной трансформаторной подстанции или питающей линии, например, жилых и общественных зданий, следует учесть несовпадение максимумов нагрузок этих зданий.

Суммарная максимальная нагрузка определяется из выражения

$$P_{max\Sigma} = P_{э, max} + K_1 P_{зд1} + K_2 P_{зд2} + \dots + K_n P_{здn} \quad (4.18)$$

где $P_{э, max}$ — наибольшая из нагрузок зданий (помещений), присоединенных к данной линии (трансформаторной подстанции), кВт; $P_{зд1}$, $P_{зд2}$, ..., $P_{здn}$ — расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую нагрузку.

При определении расчетных электрических нагрузок с учетом коэффициентов участия в максимуме (табл. 4.10) нагрузка нескольких жилых домов с одинаковыми кухонными плитами в квартирах принимается за один объект.

При ориентировочных расчетах электрических нагрузок

Таблица 4.10. Коэффициенты участия в максимуме электрических общественных зданий

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки, детские сады и ясли
	с электрическими плитами	с плитами на твердом и газообразном топливе	Столовые	Рестораны, кафе		
Жилые дома:						
с электрическими плитами	—	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4
с плитами на твердом и газообразном топливе	0,9	—	0,6	0,7	0,5	0,3
Предприятия общественного питания (столовые, кафе и рестораны)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки, детские сады и ясли	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7
Предприятия торговли (одноэтажные и полтора-двухэтажные)	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3
Политехнические	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия бытового обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2

нагрузок жилых домов (квартир и силовых электроприемников) и помещений (помещений)

Коэффициенты участия в максимуме									
Организации и учреждения, проектные организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские сады и ясли	Политехнические	Ателье и комбинаты бытового обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	одноэтажные	полтора-двухэтажные							
0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
0,2	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	—

Таблица 4.11. Усредненные удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий (без электроотопления)

Здания	Единица	Удельная нагрузка
Предприятия общественного питания полностью электрифицированные с количеством посадочных мест до 400	кВт/место	0,9
То же с количеством посадочных мест более 500	кВт/место	0,7**
То же частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством посадочных мест до 400	кВт/место	0,7
То же с количеством посадочных мест более 500	кВт/место	0,6
Продовольственные магазины без кондиционирования воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,11
То же с кондиционированием воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,11
Промтоварные магазины без кондиционирования воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,08
То же с кондиционированием воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,11
Универсамы без кондиционирования воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,1
То же с кондиционированием воздуха	кВт/м ² торгового зала	0,13
Общеобразовательные школы с электрифицированными столовыми	кВт/1 учащегося	0,11
То же без столовых	кВт/1 учащегося	0,1
Детские ясли и сады с пищеблоками	кВт/место	0,1
То же без пищеблоков	кВт/место	1,3
Парикмахерские	кВт/рабочее место	45***
Здания или помещения учреждений управления проектных и конструкторских организаций с кондиционированием воздуха всех рабочих помещений (со столовой)	Вт/м ² общей площади	36***
То же, но без кондиционирования воздуха	кВт/место	0,1
Гостиницы с кондиционированием воздуха (без ресторанов)	кВт/место	0,3**
То же без кондиционирования воздуха	кВт/1 учащегося	0,4
Профессионально-технические училища со столовыми с количеством учащихся до 1000	кВт/1 учащегося	0,25
То же с количеством учащихся более 1000	кВт/1 учащегося	0,25
Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания	Вт/кг вещей в смену	65
Пионерские лагеря (без пищеблоков)	Вт/м ² жилых помещений	20***

Продолжение табл. 4.11

Здания	Единица	Удельная нагрузка
Больница хирургического профиля с пищеблоком	кВт/койко-место	2,5***
Хирургические корпуса больниц	кВт/койко-место	0,7
Больницы многопрофильные с пищеблоком	кВт/койко-место	2,2***
Терапевтические корпуса больниц	кВт/койко-место	0,45
Радиологические корпуса больниц	кВт/койко-место	0,6
Детские больницы с пищеблоком	кВт/койко-место	2***
Терапевтические корпуса детских больниц	кВт/койко-место	0,3
Поликлиники	кВт/посещений в смену	0,15
Аптеки:		
без приготовления лекарств	кВт/м ² торгового зала	0,1
с приготовлением лекарств	кВт/м ² торгового зала	0,15
Кинотеатры и киноконцертные залы:		
с кондиционированием воздуха	кВт/место	0,12
без кондиционирования воздуха	кВт/место	0,1
Театры и цирки	кВт/место	0,3
Дворцы культуры, клубы	кВт/место	0,4
Дома отдыха, пансионаты, профилактории (без столовых)	кВт/место	0,35***
Общежития:		
с электроплитами в кухнях	кВт/место	0,4
без электроплит в кухнях	кВт/место	0,1
Учебные корпуса высших и средних специальных учебных заведений (без столовых):		
с кондиционированием воздуха	кВт/м ² полезной площади	0,04***
без кондиционирования воздуха		0,03***
Лабораторные корпуса высших и средних специальных учебных заведений (без столовых):		
с кондиционированием воздуха	кВт/м ² полезной площади	0,06***
без кондиционирования воздуха	кВт/м ² полезной площади	0,05***
Комбинаты бытового обслуживания населения	кВт/рабочее место	0,5

* Удельная нагрузка не зависит от наличия кондиционирования воздуха.
 ** Удельную нагрузку ресторанов при гостиницах следует принимать, как для предприятий общественного питания.

*** Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать, как для предприятий общественного питания, с учетом числа мест, равного 1/3 обслуживаемых пищеблоком.

Таблица 4.12 Коэффициенты совмещения максимумов нагрузки трансформаторов

Характеристика нагрузки	Коэффициенты совмещения максимумов нагрузки трансформаторов в зависимости от их количества				
	2	3—5	6—10	11—20	более 20
Жилая застройка (70 % нагрузки жилых домов и более)	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Общественная застройка (70 % нагрузки общественных зданий и более)	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Коммунально-промышленные зоны (65 % нагрузки промышленных и общественных зданий и более)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,55

Примечание. Если нагрузка промышленных предприятий составляет менее 30 % нагрузки общественных зданий, то коэффициенты совмещения максимумов нагрузки трансформаторов принимаются, как для общественных зданий.

по застройке надо учитывать удельные расчетные нагрузки общественных зданий, отнесенные к жилой площади жилых домов, т. е. на 1 м² общей площади.

Тогда нагрузка микрорайона (квартала) определяется из выражения, кВт,

$$P_{\text{мр}} = (P_{\text{ж.д.уд}} + P_{\text{об.зд.уд}}) S \cdot 10^{-3}, \quad (4.19)$$

где $P_{\text{об.зд.уд}}$ — удельная нагрузка общественных зданий микрорайонного значения, которую можно принимать при застройке домами с электрическими плитами 2,6 Вт/м², а для домов с плитами на газообразном или твердом топливе 2,3 Вт/м².

Таблица 4.13. Коэффициенты совмещения максимумов

Прим. максимум нагрузки	Коэффициенты совмещения максимумов		
	20	40	100
Утро	0,75	0,8	0,85
	0,6	0,7	0,75
Вечер	0,85—0,9	0,65—0,85	0,55—0,8

Примечания: 1. В числителе приведены коэффициенты для жилой застройки. 2. Меньшее значение коэффициентов в период вечернего максимума нагрузки. 3. Большие — когда все предприятия имеют двух- или трехсменный режим работы. 4. Если нагрузка на сеть менее 20 %, коэффициент совмещения для утреннего и вечернего максимумов совмещения для утреннего максимума следует принимать равным 1, для вечернего — 0,65.

К зданиям микрорайонного значения относятся предприятия торговли и общественного питания, школы, детские дошкольные учреждения, молочные раздаточные пункты, приемные и ремонтные пункты, ДЭС и другие учреждения согласно строительным нормам по планировке и застройке городов, поселков и сельских населенных пунктов.

Нагрузки общественных зданий районного и городского значения, включая лечебные учреждения и зрелищные предприятия, принимаются по усредненным значениям табл. 4.11.

Нагрузки уникальных зданий могут приниматься по проектам электрооборудования этих зданий с учетом коэффициента участия в максимуме (см. табл. 4.10).

Расчеты нагрузок в сетях 6, 10 кВ производятся с учетом коэффициентов совмещения максимумов нагрузок трансформаторов в зависимости от количества присоединенных к данному элементу сети трансформаторов и характера нагрузки. Значения этих коэффициентов приведены в табл. 4.12. Значение $\cos \phi$ принимается равным 0,92.

Нагрузки на шинах 6, 10, 20 кВ районных подстанций (центров питания) определяются с учетом коэффициентов совмещения максимумов нагрузок городских сетей и предприятий по табл. 4.13.

Пример 4.2. Определить ориентировочную нагрузку микрорайона на шинах 0,4 кВ ТП. Общая площадь квартир составляет 300 тыс. м² (дома с электроплитами), $P_{\text{об.зд.уд}}$ принимаем 2,6 Вт/м². Кроме того, в микрорайоне кинотеатр на 1200 зрителей и поликлиника на 750 посещений в смену.

нагрузок городских сетей и промпредприятий

нагрузок промпредприятий в процентах нагрузок городских сетей			
150	200	300	400
0,88	0,9	0,92	0,95
0,8	0,85	0,87	0,9
0,45—0,76	0,1—0,75	0,3—0,7	0,3—0,7

стройки с электроплитами, в знаменателе — с газовым или твердым топливом. Следует принимать при наличии промпредприятий с односменным режимом работы. 3. При отношении расчетной нагрузки промпредприятий к нагрузке городов максимумов следует принимать равным 1. Если это отношение более 400 %, коэффициент совмещения для односменной работы — 0,25, при двух- или трехсменной — 0,1.

Решение.

$$P_{p, \text{мр}} = (P_{\text{ж, д, уд}} + P_{\text{общ, д, уд}}) S \cdot 10^{-3} + K_1 P_{\text{нт, уд}} n_1 + K_2 P_{\text{ш, уд}} n_2,$$

где K_1 и K_2 — принимаются по табл. 4.10; n_1 — число мест в кинозале; n_2 — число посетителей в поликлинике.

$$P_{p, \text{мр}} = (18,2 + 2,6) 300 + 0,9 \cdot 0,12 \cdot 1200 + 0,7 \cdot 0,15 \cdot 750 = 6448,4 \text{ Вт.}$$

Глава пятая

ГРАФИКИ НАГРУЗОК

Потребление электроэнергии не остается постоянным, а изменяется в зависимости от характера производства, вида и типа электроприемников, времени года, часов суток. Следовательно, изменяется и режим работы электростанций и трансформаторных подстанций.

Изменение нагрузок характеризуется графиками, показывающими изменение потребляемой мощности в зависимости от времени суток. Форма суточного графика нагрузки и его характеристика (заполнение), а также максимум нагрузки потребителей городского типа изменяются в широких пределах. Поэтому для исследований строятся усредненные из ряда графиков по средним получасовым нагрузкам. С помощью этих графиков можно анализировать работу электростанций, подстанций, элементов сети или групп потребителей за определенное время, выбрать необходимый режим работы агрегатов, степень использования оборудования и возможность более целесообразного распределения нагрузок между источниками питания.

Для электрических сетей городов характерны летний и зимний суточные графики нагрузок.

Оба графика имеют два ярко выраженных максимума в утренние и вечерние часы, причем вечерний максимум нагрузки выше утреннего. Летний график нагрузки отличается от зимнего тем, что нагрузки летнего периода ниже зимних и вечерний максимум летом наступает позднее. Имея суточные графики для зимы и лета, можно построить годовой график нагрузки станции (энергосистемы). Такой график называется графиком по продолжительности.

На основании суточных графиков нагрузки определяют

мощность электростанции или подстанции и необходимость включения отдельных агрегатов. Графики по продолжительности используют для составления балансов расхода электроэнергии, определения расхода топлива и т. п.

Графики нагрузок жилых зданий также имеют ярко выраженные максимумы в утренние и вечерние часы и различаются в зависимости от времени года. Однако в южных районах страны, где в перспективе будут широко применяться бытовые кондиционеры, нагрузки летнего периода могут оказаться значительно выше. Это же относится и к некоторым магазинам, у которых в результате работы холодильного оборудования и кондиционеров летний максимум может превышать зимний.

На рис. 5.1 приведен усредненный зимний суточный график нагрузок жилого дома с газовыми плитами, а на рис. 5.2 — жилого дома с электрическими плитами в квартирах.

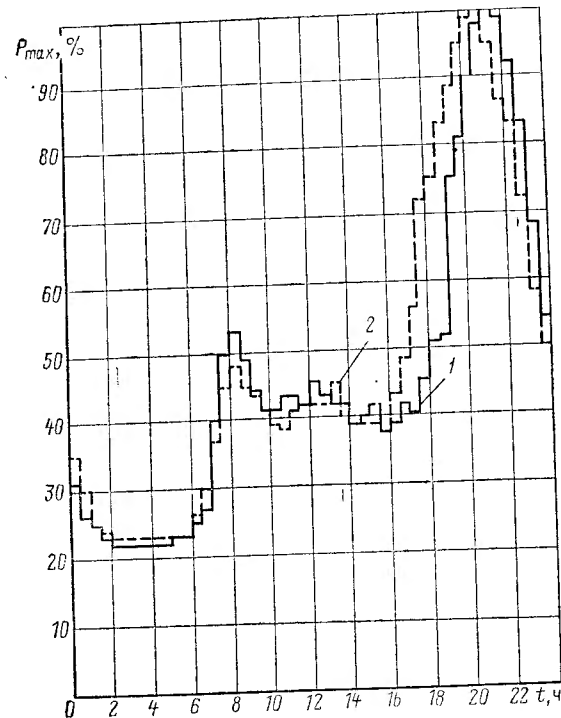


Рис. 5.1. Усредненные зимние суточные графики, % P_{max} , электрической нагрузки на вводе в жилые здания с газовыми плитами при многоэтажной застройке при числе присоединенных квартир 410 (1) и 505 (2)

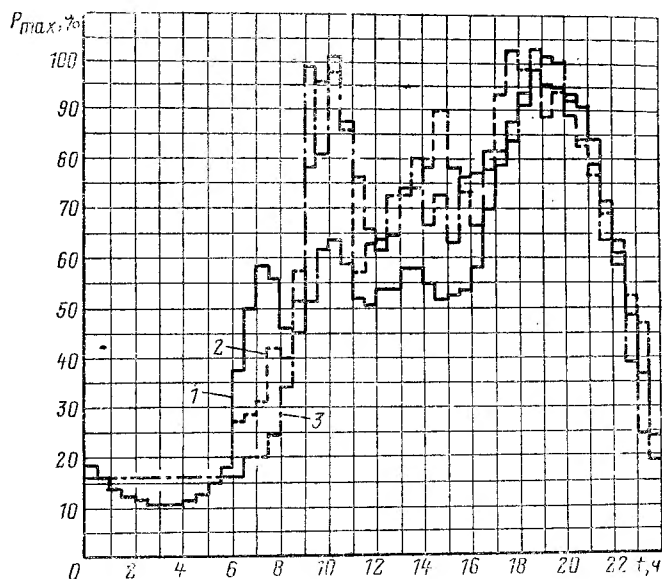


Рис. 5.2. Усредненные суточные графики нагрузки, % P_{max} , на вводе в 108-квартирный дом с электрическими плитами:

1 — рабочий день; 2 — суббота; 3 — воскресенье

На осях ординат даны нагрузки в процентах максимальной, а на оси абсцисс указаны часы суток.

Для элементов сетей, питающих квартиры с газовыми плитами, усредненные графики строятся для всех дней недели, включая выходные дни, так как большого различия в графиках нагрузки по дням недели в этих сетях нет. Для элементов сетей, питающих квартиры с электрическими плитами, строятся усредненные графики отдельно для рабочих и выходных дней. Характерной особенностью графиков нагрузки выходного дня является наличие утреннего, дневного и вечернего максимумов, причем утренний максимум практически равен вечернему.

Средние получасовые нагрузки определяют по показаниям счетчика делением электроэнергии, потребляемой за 30 мин, на промежуток времени. Для построения усредненного графика суммируют средние нагрузки, зафиксированные в один и тот же интервал времени, например 14 ч 00 мин — 14 ч 30 мин, 14 ч 30 мин — 15 ч 00 мин и т. д., за все дни недели, а затем полученное значение делят на 7.

Как видно из графика на рис. 5.1, в домах с газовыми плитами зимний максимум нагрузки наступает примерно в 20 ч и продолжается до 21 ч.

В сетях, питающих квартиры с электрическими плитами, в рабочие дни недели вечерний максимум нагрузки совпадает по времени с максимумом нагрузки домов с газовыми плитами. Утренний максимум начинается с 6 ч и продолжается до 11 ч. Значение утреннего максимума лежит в пределах 55—60 % вечернего максимума, дневная нагрузка составляет примерно 50, а ночная не превышает 20 %. В субботные и воскресные дни кроме вечернего максимума имеет место утренний максимум, примерно равный вечернему, и дневной максимум нагрузки с 13 до 17 ч примерно 80 % вечернего максимума.

Приведенные данные характерны для крупных городов. В небольших городах и поселках, а также в общежитиях, где существенную роль играет сменная работа трудящихся, графики нагрузки могут отличаться от рассмотренных выше.

В жилых домах необходимо считаться с неравномерным распределением нагрузки по фазам, особенно в домах с электроплитами. Это наглядно видно из графика, приведенного на рис. 5.3, в котором на оси ординат указаны токовые нагрузки по фазам.

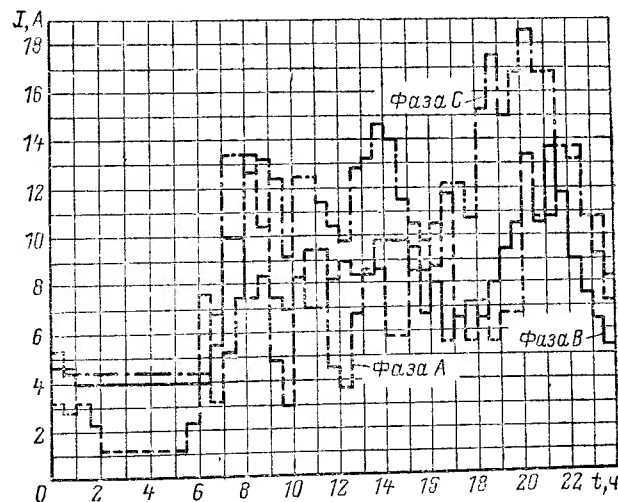


Рис. 5.3. Усредненные суточные графики нагрузки по фазам стояка в доме с электрическими плитами

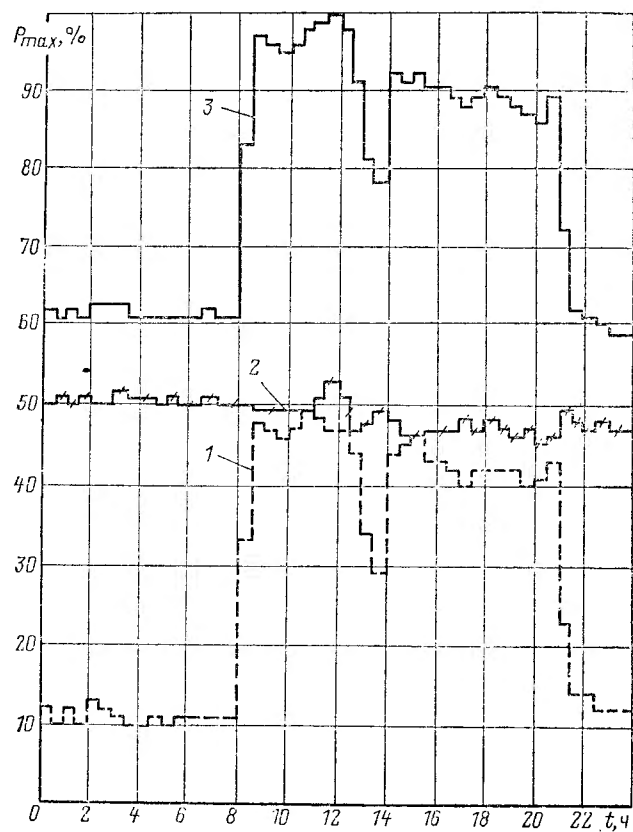


Рис. 5.4. Усредненные летние суточные графики электрических нагрузок универсама (% P_{max}):

1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарная нагрузка

Графики нагрузок общественных зданий разнообразны и имеют характерные особенности, зависящие от режимов работы и характеристик электроприемников этих зданий. На рис. 5.4 приведен усредненный суточный график нагрузки универсама для летнего дня. На графике приведены изменения во времени осветительной, силовой и общей нагрузок. Из графика видно, что максимум нагрузки приходится на дневные часы в результате более интенсивной работы систем вентиляции и холодильного оборудо-

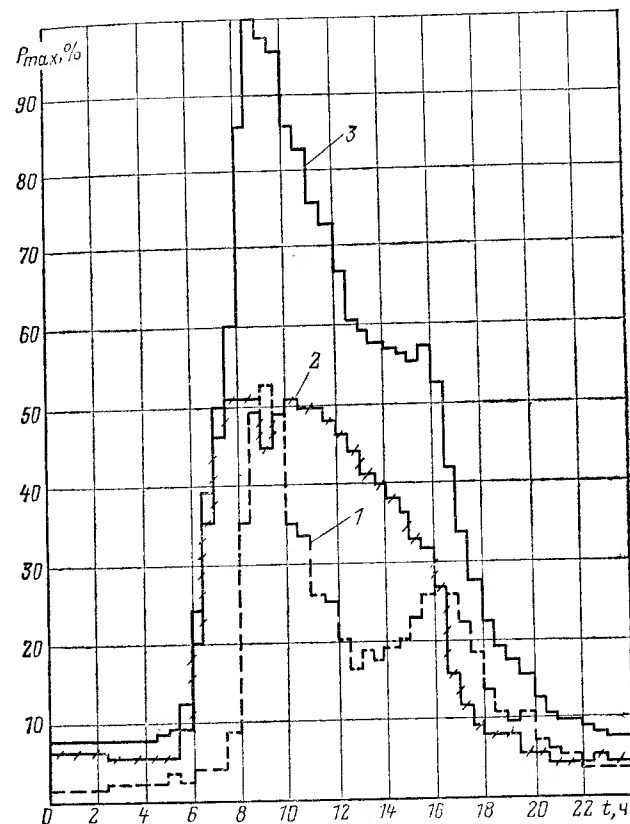


Рис. 5.5. Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок однодневной школы с электрифицированным пищеблоком (% P_{max}):

1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарные нагрузки

вания. В зимнее время наибольшая нагрузка приходится на вечерние часы (до закрытия магазина).

График нагрузки однодневной средней школы (осветительная, силовая и общая) приведен на рис. 5.5. Максимум нагрузки, естественно, приходится на утренние часы зимнего дня.

На рис. 5.6 приведен график нагрузки зимнего дня терапевтического корпуса больницы. Из графика видно, что максимальная нагрузка приходится на утренние часы, когда проводится большая часть лечебных процедур и работает

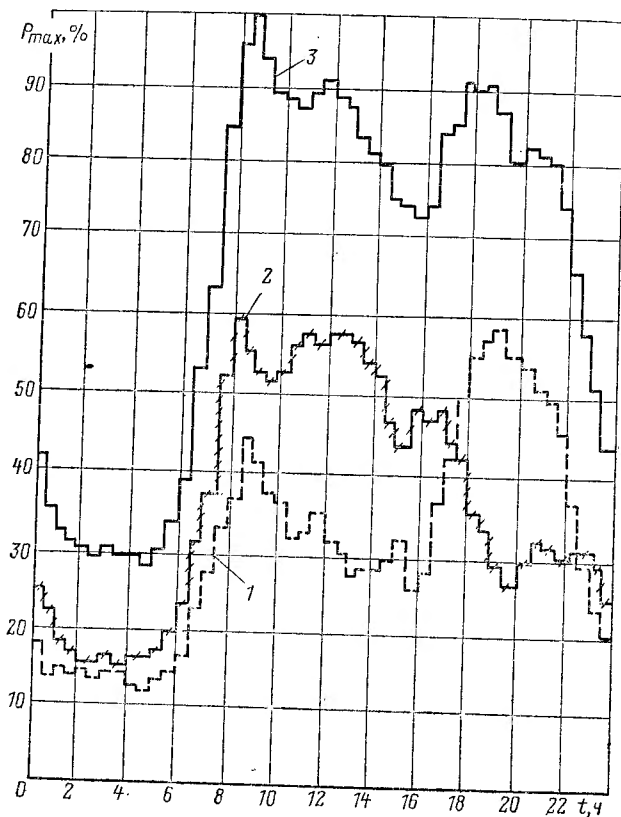


Рис. 5.6. Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок терапевтического корпуса больницы (% P_{max}):

1 — осветительные нагрузки; 2 — силовые нагрузки; 3 — суммарная нагрузка

пищеблок. Второй пик нагрузки приходится на время с 18 до 21 ч из-за освещения.

Общим для всех графиков общественных зданий является несовпадение максимумов силовой и осветительной нагрузок, о чем сказано в гл. 4.

На основании суточных и годового графиков нагрузок могут быть определены некоторые коэффициенты, которыми пользуются при проектировании и эксплуатации электрических установок:

1) средняя нагрузка, кВт,

$$\bar{P}_{cp} = W/T, \quad (5.1)$$

где W — расход электроэнергии (площадь графика), кВт·ч, за T , ч;

2) число часов использования максимума нагрузки

$$T_{max} = W/P_{max}, \quad (5.2)$$

где P_{max} — наибольшая нагрузка за определенный период времени, кВт;

3) коэффициент заполнения графика нагрузки

$$K_{з,г} = \bar{P}_{cp}/P_{max}. \quad (5.3)$$

Раздел третий

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Глава шестая

ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

6.1. НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Требования к надежности электроснабжения регламентированы ПУЭ и Строительными нормами.

К I категории относят электроприемники, нарушение электроснабжения которых представляет опасность для жизни людей, может нанести значительный ущерб народному хозяйству, привести к массовому браку продукции, расстройству сложного технологического процесса, нарушить важные элементы городского хозяйства.

Ко II категории относят электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с простоем рабочих механизмов и промышленного транспорта, нарушением нор-